

**Aporte de La Universidad Nacional de  
Colombia a la Construcción Capacidades  
Tecnológicas en el área de Materiales**

**COMPONENTE: FORMACIÓN DE  
PROFESIONALES**

Propuesta de creación un programa de pregrado en el  
área de ciencia, ingeniería y tecnología de materiales.

**Juan Manuel Velez Restrepo**

**Profesor Asociado**

**Departamento de Materiales y Minerales**

**DOCUMENTO DE TRABAJO**

<u>1</u>	<u>Introducción</u>	<u>3</u>
<u>2</u>	<u>Contexto global: dinámica de innovación en materiales</u>	<u>6</u>
<u>2.1</u>	<u>Surgimiento del área: formación e investigación.</u>	<u>6</u>
<u>2.2.</u>	<u>Impacto económico y social de la ciencia y tecnología de materiales</u>	<u>8</u>
<u>2.3.</u>	<u>Grandes retos y oportunidades de la ciencia y la ingeniería - materiales</u>	<u>11</u>
<u>2.3.1</u>	<u>Energía</u>	<u>12</u>
<u>2.3.2.</u>	<u>Infraestructura urbana</u>	<u>15</u>
<u>2.3.3</u>	<u>Transporte</u>	<u>15</u>
<u>2.3.4.</u>	<u>Medio ambiente - materias primas estratégicas</u>	<u>16</u>
<u>2.4.</u>	<u>El ejercicio profesional - la comunidad de materiales.</u>	<u>17</u>
<u>3.</u>	<u>El Contexto Nacional y el desarrollo de capacidades en tecnología de materiales en Colombia.</u>	<u>24</u>
<u>3.1.</u>	<u>El área de ciencia, ingeniería y tecnología de materiales en colombia</u>	<u>27</u>
<u>3.2.</u>	<u>Oportunidades para el desarrollo de capacidades en tecnología de materiales.</u>	<u>26</u>
<u>3.2.1.</u>	<u>Plan de desarrollo nacional 2010-2014</u>	<u>27</u>
<u>3.2.2</u>	<u>Programa de Transformación Productiva</u>	<u>37</u>
<u>3.2.3.</u>	<u>Sistema General de Regalías</u>	<u>38</u>
<u>3.2.4</u>	<u>Ingeniería Verde y Química Verde.</u>	<u>39</u>
<u>4.</u>	<u>Programa Curricular en Ciencia, Ingeniería y Tecnología de Materiales.</u>	<u>41</u>
<u>4.1.</u>	<u>Normativa</u>	<u>41</u>
<u>4.2</u>	<u>Justificación</u>	<u>42</u>
<u>4.3.</u>	<u>Programa Curricular</u>	<u>43</u>
<u>4.3.1</u>	<u>Criterios</u>	<u>43</u>
<u>4.3.2</u>	<u>Características del Programa</u>	<u>43</u>
<u>4.3.3.</u>	<u>Objetivos y competencias</u>	<u>44</u>
<u>4.3.4</u>	<u>Componentes del programa y sus agrupaciones</u>	<u>46</u>
<u>4.4</u>	<u>Recursos</u>	<u>55</u>
<u>4.4.1.</u>	<u>Recursos docentes</u>	<u>55</u>
<u>4.4.2.</u>	<u>Laboratorios</u>	<u>56</u>
<u>4.4.3.</u>	<u>Grupos de investigación</u>	<u>58</u>
<u>4.4.4.</u>	<u>Otros Programas Relacionados</u>	<u>58</u>
<u>4.5.</u>	<u>Gestión administrativa del programa</u>	<u>58</u>
<u>4.4.1.</u>	<u>Nombre del programa</u>	<u>59</u>
<u>4.4.2.</u>	<u>Facultades y unidades académicas participantes</u>	<u>60</u>
<u>4.4.3</u>	<u>Estructura Administrativa</u>	<u>60</u>
<u>5.</u>	<u>REFERENCIAS</u>	<u>61</u>

# 1. Introducción

El actual escenario mundial puede ser caracterizado por la globalización y la liberalización económica; el conocimiento y la innovación tecnológica –entendida como la transformación del conocimiento en productos, procesos y servicios– impulsan la economía y son factores clave para aumentar la competitividad y la productividad a largo plazo, y son motores de generación de bienestar para la población. La madurez en la innovación tecnológica, sin embargo, requiere de liderazgo en todos los aspectos relacionados con la ciencia y la ingeniería: investigación para encontrar el puente entre el descubrimiento científico y las aplicaciones prácticas; formación que proporcione a los ingenieros y tecnólogos las habilidades para crear y explotar con beneficios económicos el conocimiento y la innovación; y, finalmente, una concepción de la práctica de la ingeniería como medio de transformación del conocimiento en productos y servicios innovadores.

La incursión y la permanencia de productos y servicios nacionales en el mercado globalizado depende de la capacidad tecnológica que tengan las empresas para generar valor agregado en los mismos; la adquisición de esas capacidades debe involucrar el sector empresarial, el sistema educativo, desde la básica hasta superior, las instituciones comprometidas con la investigación y el estado (gestión, promoción, financiación); sin un esfuerzo coordinado entre los actores el avance será incierto. Cuatro son los elementos clave que deben ser mejorados: 1) la infraestructura científica y de I+D, 2) la oferta de recurso humano profesional y de investigación altamente calificado, y 3) el vínculo entre los grupos de investigación y las empresas que producen bienes y servicios para el mercado nacional e internacional (CEPAL, 2009)<sup>1</sup> y 4) la gestión universitaria, que debe modernizarse para atender los retos de la creación de conocimiento e innovación.

Colombia, desde hace varias décadas, está a la búsqueda de estrategias económicas y sociales que le permitan salir del grupo de naciones tecnológicamente dependientes, caracterizadas por la compra de tecnología, la venta de materias primas (commodities) sin valor agregado, el empleo mal remunerado o informal y los altos índices de pobreza e inequidad. En el contexto actual, esa transformación social se apalanca con la participación del país en el mercado mundial de bienes y servicios de alto valor agregado, lo cual requiere de la asimilación y creación de tecnologías que, a su vez, va ligado al progreso científico. Lall, S. (1992)<sup>2</sup> y Kim, L. (2001)<sup>3</sup> afirman que los procesos de cambio tecnológico en los países en vía de desarrollo deben ser enfocados a la obtención y el mejoramiento de las capacidades tecnológicas más que a la producción de innovaciones en la frontera de la tecnología; se hace referencia al aprendizaje de la utilización, adaptación y perfeccionamiento de tecnologías ya existentes en economías industriales avanzadas.

Tradicionalmente, las ventajas competitivas de Colombia son resultado del bajo costo de factores productivos, como la mano de obra y la explotación y venta de recursos naturales (commodities). Específicamente el sector que se ocupa de la transformación de materiales, no tiene tradición de investigación y desarrollo. El aprendizaje de nuevos procesos se realiza empíricamente, limitándose a la adaptación de técnicas y procesos desarrollados por agentes exógenos, y casi siempre sin la debida incorporación de los conocimientos científicos que involucran esas técnicas. Algunas empresas disponen de laboratorios, normalmente para pruebas de control de calidad, dedicados principalmente a atender las necesidades de evaluación de sus productos.

El interés por el desarrollo de nuevos materiales (cerámicas avanzadas, polímeros, compuestos, aleaciones, materiales alternativos, entre otros) y nuevas técnicas de procesamiento (plasma, láser, entre otras) ha estado relegado al entorno académico. En el área industrial relacionada con recubrimientos y tratamientos superficiales de metales y aleaciones hay avances importantes en la aplicación de tecnologías a plasma, que pueden generar mayor competitividad al sector; sin embargo, no se percibe una actitud generalizada hacia el cambio para esas nuevas tecnologías. Este lento desarrollo puede atribuirse, entre otras razones, a la ausencia de profesionales e investigadores en el área de ingeniería de materiales que se ocupen del desarrollo y adaptación de técnicas y procesos productivos; las relaciones básicas que gobiernan el desempeño de los materiales y productos no han sido apropiadas por el sistema productivo.

La competitividad futura de productos colombianos en el exterior dependerá del valor agregado de conocimiento que sus productos contengan. Para lograr esto es necesario incrementar aceleradamente la formación de recurso humano en procesamiento de materiales tanto en los procesos convencionales como en el diseño y producción de materiales avanzados. Según lo anterior, es absoluta la necesidad de potenciar las capacidades tanto en equipamiento científico como en la formación de recurso humano en esta área de la Ciencia, la Ingeniería y la Tecnología de Materiales.

En las estrategias para la construcción de capacidades tecnológicas, antes descritas, la Universidad Nacional a través de sus actividades misionales (docencia, investigación y extensión) puede aportar al fortalecimiento en esta área del conocimiento. Para ello se identifican tres campos de acción, que deben ser correctamente articulados:

- Formación de recurso humano de pregrado y posgrado, debidamente calificado.
- Transferencia de conocimiento: educación continua, asesoría, servicios, y
- Actividades de investigación, innovación y emprendimiento.

En el presente documento se propone una estrategia de formación de recurso humano de pregrado. Si bien está formulado para la Sede Medellín de la Universidad Nacional, puede ser aplicado en las Sedes de Bogotá y Manizales donde se han identificado fortalezas importantes en el estudio de los materiales, tanto en las facultades de ciencias como en las de ingeniería.

Juan Manuel Velez

Abril 2013

## 2. Contexto global: dinámica de innovación en materiales.

### 2.1. Surgimiento del área: formación e investigación.

La tecnología de materiales ha estado en fase con las revoluciones industriales y tecnológicas. En la primera revolución el desarrollo del ferrocarril, la implementación de la energía eléctrica, el motor de combustión interna, entre otras, demandaron una rápida tecnificación de la fabricación del acero y la búsqueda de otras aleaciones. La segunda revolución consolidó la industrias química, eléctrica, de telecomunicaciones; la producción en masa y los sistemas de distribución aparecieron en escena; los talleres de enseñanza dieron paso a los laboratorios de investigación y desarrollo, tanto en universidades como en grandes corporaciones. Ya en la tercera revolución, llamada revolución científica y tecnológica, aparecen la robótica, la bioingeniería y biotecnología, y las tecnologías de información y comunicaciones (TICs). Las transformaciones tecnológicas y socioeconómicas ocurridas en cada uno de esos momentos históricos han generado la necesidad de nuevos materiales y procesos. En la actualidad, esta área del conocimiento debe resolver problemas complejos, que demandan del aporte de diferentes disciplinas y su análisis desde diferentes escalas.

Durante algunas décadas se enfatizó en la diferencia existente entre Ingeniería de Materiales y Ciencia de Materiales<sup>4</sup>, dando una connotación tecnológica a la primera y científica a la segunda. La Ciencia de Materiales ha sido caracterizada como una ciencia interdisciplinaria en la que confluyen principalmente la Química (preparación, caracterización y propiedades químicas) y la Física (estudio de las propiedades físicas); se ocupa de predecir las propiedades de los materiales a partir del conocimiento de los fenómenos y el control de las diferentes variables que gobiernan su estructura, en los diferentes niveles que esta se presenta: estructura electrónica, enlace atómico, estructura cristalina, microestructura y macroestructura. La Ingeniería de Materiales, por otro lado, ha tenido como objetivo estudiar los procesos de fabricación, la selección y el comportamiento de los materiales frente a agentes externos (como esfuerzos estáticos y dinámico), ataque de ambientes corrosivos, presencia de calor, fenómenos de radiación y vibraciones. Este último aspecto incluye la evaluación del desempeño del material, cualitativa y cuantitativamente, a la luz de la normatividad nacional e internacional. Es obvio considerar que los dos enfoques del estudio de los materiales son complementarios, y que su trabajo conjunto ha dado grandes resultados tecnológicos.

The National Research Council, USA(1989)<sup>5</sup> reconoció la Ciencia e Ingeniería de materiales como una nueva área estratégica para el conocimiento, donde confluyen la ciencia y la ingeniería, que surge de una mirada integradora de los materiales: las propiedades que un material exhibe en respuesta a los agentes externos están íntimamente relacionados con la composición, la estructura y la

síntesis para su obtención; ese material debe desempeñar una función determinada dentro de parámetros técnicos, económicos y sociales, ver la Figura 1.

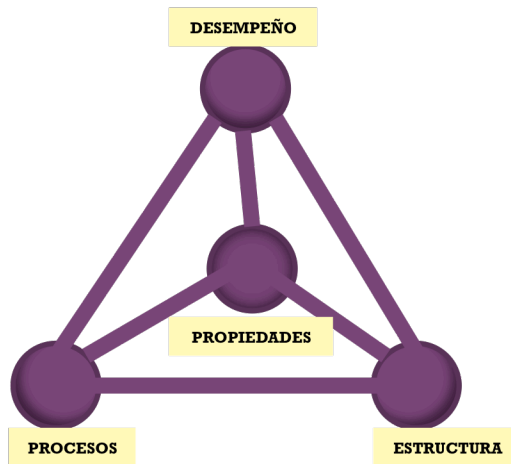


Figura 1 Tetraedro que representa los diferentes elementos de la Ingeniería y Ciencia de Materiales. Adaptación del autor, Con base en referencia <sup>7</sup>.

La interacción de estos elementos se puede describir como el sistema para impulsar el desarrollo de la ciencia, la ingeniería y la tecnología de Materiales (citem). El conocimiento de la estructura y la composición en escala nanométrica y micrométrica (átomo, molécula y cristal) y su relación con las propiedades en escala macroscópica, constituye una herramienta de gran utilidad para la selección o diseño de materiales y procesos. Por otro lado, los procesos de manufactura empleados en la producción, definen la microestructura del material o componente y sus especificaciones técnicas. Las bases científicas y tecnológicas que soportan el sistema son diferentes y complementarias (ciencias, ingeniería, matemáticas); esto confiere el carácter de multidisciplinario al sistema.

Los orígenes de esta interdisciplinaridad se remontan a la década del 60, con la implementación de laboratorios interdisciplinarios en los Estados Unidos (Inter Disciplinary Laboratories, IDL). Según Sproull, R.L (1987)<sup>6</sup> y Hartman P.L.(2007)<sup>7</sup>, esta estrategia fue implementada para reorientar la investigación en esta área del conocimiento de cara a la carrera aeroespacial, investigación hasta entonces liderada por departamentos de química o física y en algunos departamentos de las facultades de ingeniería, como minas, metalurgia y civil, entre otros. Así nacieron los primeros laboratorios de investigación en materiales, a través de convocatorias promovidas por el gobierno americano, donde era necesaria y estratégica la participación de diferentes áreas de las ciencias y la ingeniería para

lograr resultados con impacto comercial, en los sectores científicos, tecnológicos, de productos y servicios.

La estrategia constituyó la semilla del trabajo interdisciplinario presente hoy en los centros de investigación de Estados Unidos y el mundo. Los laboratorios ofrecieron facilidades a investigadores de diversas áreas del conocimiento y diferentes procedencias, quienes empezaron a interactuar y a construir un tejido complejo para investigación en el área. Se implementó un nuevo diseño de estructura organizacional para la investigación con el fin de responder a una iniciativa nacional. Esta nueva modalidad de financiación de la investigación generó cambios en la manera en que se realizaba la gestión de las universidades; en particular, la organización departamental tradicional se vio amenazada, como lo describe Schwartz L.H (1987)<sup>8</sup>. El resultado más estratégico de ésta transformación fue el surgimiento de una nueva forma de hacer negocios que favoreció al investigador, a la institución y al ambiente en el que se mueve el estudiante de posgrado.

Esta señal de interdisciplinaridad motivó el surgimiento de unidades académicas y programas curriculares donde la visión integradora fue priorizada. Lentamente, se inició la transformación de los departamentos tradicionales (minas, metalurgia, minerales) hacia departamentos de materiales; Schwartz L.H, cita como ejemplo que entre 1964 y 1985, en Estados Unidos, el número de departamentos de Metalurgia disminuyó de 31 a 17, los de Minerales y Minas de 9 a 5, mientras que los que se denominaron de Materiales aumentaron drásticamente de 11 a 55.

## **2.2. Impacto económico y social de la Ciencia y Tecnología de Materiales.**

Los materiales no constituyen por sí mismos un sector industrial definido, agrupa actividades industriales diferentes en las que se identifican bases científicas y tecnológicas similares: la siderurgia, la industria del vidrio, la industria del plástico, la medicina, materiales naturales, el reciclaje, etc. Esa base científica, que aun se encuentra en desarrollo, le confiere a esta área del conocimiento gran capacidad de innovación.

El conocimiento sobre materiales es fundamental para el desarrollo de industrias competitivas, que son la fortaleza de la economía de un país; la solución a muchos de los problemas en la industria se encuentra en la frontera de la investigación de esta área del conocimiento. La comunidad científica conoce hoy la estructura y las propiedades de los materiales a un grado desconocido 40 años atrás; la combinación controlada de átomos, radicales y moléculas permite obtener propiedades específicas, calculadas a partir de los principios básicos que gobiernan esas uniones (UNESCO, 2000)<sup>9</sup>. En la producción de cualquier artefacto o componente con aplicación en diferentes campos: la mecánica, la electricidad y la electrónica, la medicina, las comunicaciones, la informática, entre otros, los



materiales y su procesamiento juegan un papel preponderante. Sin nuevos materiales y su eficiente producción sería imposible el desarrollo de los mecanismos y equipos con los que cuenta el mundo moderno: computadores, equipos de comunicación, instrumentos científicos, aviones, carros, robots, entre otros.

La capacidad de desarrollar nuevos materiales es un factor determinante en la competitividad de la industria en el mercado global; los materiales representan del 30% al 50% de los costos de los productos finales manufacturados. El conocimiento de los materiales y procesos facilita la reducción de costos de producción y el mejor desempeño de los productos, generando competitividad en las empresas. En esa perspectiva la incursión en el área de los “materiales avanzados”, diseñados para obtener las propiedades requeridas en una aplicación específica, es una decisión estratégica, de países y sectores económicos.

La generación de nuevos productos a partir del conocimiento científico puede tomar mucho tiempo, y seguir rutas impredecibles. En las últimas décadas, las bases científicas de la materia condensada y la física de materiales han sido el soporte de grandes descubrimientos que han impulsado tecnologías de vanguardia en diversos sectores de la economía, como se ilustra en la figura 2; en otras palabras, cuando los sistemas científico y tecnológico industrial se retroalimentan constituyen una gran fuerza motriz para el bienestar económico y social; los desarrollos e innovaciones basadas en el conocimiento son la base para la competitividad de empresas, sectores y país en el escenario internacional<sup>10</sup>. Este es un ejemplo a seguir por parte de las naciones en vía de desarrollo, que deben considerar la ciencia y la tecnología como pilar de su desarrollo económico y social. El país que desee competir en el “mercado científico” global debe realizar desarrollos tecnológicos cada vez más eficientes y competitivos, ya sea en materiales o en productos terminados, y ello implica construir capacidad para absorber tecnologías foráneas y producir las propias, es decir de innovar en cualquiera de las categorías: tecnológicas (productos o procesos), comerciales; organizativas, financieras o de servicios (García, 2005)<sup>11</sup>.

En el área de ciencia y tecnología de materiales la generación de esas capacidades exige formación de recurso humano altamente calificado, así como infraestructura para investigación. Es conveniente entonces, mirar la evolución del área tecnológica de materiales y la formación de recurso humano en otras regiones y países del mundo.

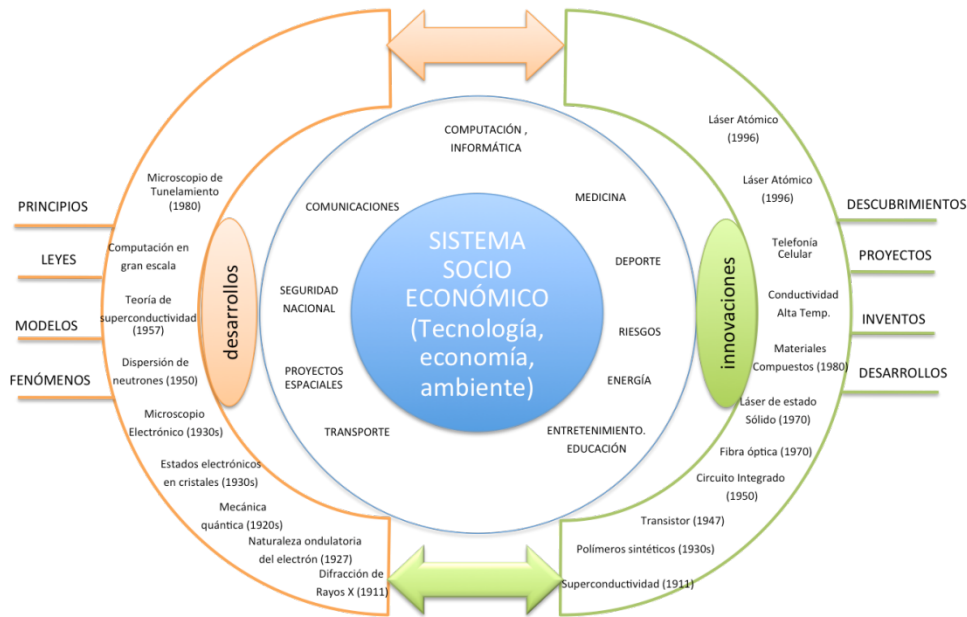


Figura 2. Impactos de los desarrollos científicos e innovaciones tecnológicas en el área de materiales en el desarrollo social

En el Reino Unido (UK) el Departamento de Comercio e Industria (DTI) en su documento “A strategy for Materials” (DTI UK, 2006)<sup>12</sup> estableció el área de materiales como una de las tecnologías de apoyo para el estímulo de la innovación y el crecimiento de la productividad de la industria, basado en la importancia del sector en la economía: 15% del PIB y cerca de 1,5 millones de empleos directos.

En los Estados Unidos, como se mencionó antes, el impacto económico de los materiales en el desarrollo tecnológico y económico fue avizorado desde finales de la década del 50, cuando se inició la carrera aeroespacial entre los Estados Unidos y la Unión Soviética. Esto motivó creación de los laboratorios interdisciplinarios (IDL: Inter Disciplinary Laboratories) dedicados a reorientar la investigación en el área de la ciencia de materiales e ingeniería de materiales. Allí se originan los departamentos y programas de Ingeniería de Materiales y Ciencia de Materiales.

La Academia Alemana de Ciencias e Ingeniería puso su atención en el tema de “materiales” por considerarlo importante para la industria nacional. La cadena de valor material - producto final es el foco desde el cual se analizan los retos para la ciencia y la ingeniería de materiales; es decir, el trayecto desde la investigación hasta el desarrollo del producto y su manufactura. Ella conecta la academia con la industria y requiere el concurso de varias disciplinas y las autoridades. En casi todos los sectores productivos las tecnologías de materiales son parte de la base y motor de innovaciones de productos y procesos con potencial mercado global. Los materiales utilizados en las industrias alemanas, incluyendo ingeniería

automotriz, química, mecánica, energética, eléctrica y electrónica, la producción de metales y de las industrias de transformación alcanzan un billón de euros y emplean alrededor de cinco millones de personas (ACATECH, Germany, 2008)<sup>13</sup>.

En Taiwán, desde 1980 el Gobierno ha elegido la tecnología de materiales, como una de las cuatro tecnologías básicas nacionales. Las otras tres tecnologías básicas se componen de: electrónica, informática y la bioingeniería. Se considera que la poderosa industria electrónica taiwanés ha requerido de mayor cantidad de recurso humano en el área de materiales con respecto al inicialmente pensado; los profesionales en materiales son más competentes para el procesamiento de componentes electrónicos que los provenientes de otras disciplinas genéricas (Lee F.M 2002)<sup>14</sup>.

Otra iniciativa de importancia en Europa fue la creación de la *Federation of European Materials Societies*, creada en 1987 por la organizaciones o institutos de Inglaterra, Alemania y Francia y que hoy cuneta con 28 socios de diferentes países europeos; la actividad que más identifica esa asociación es la realización del evento EuroMat, "European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes".

### **2.3. Grandes retos y oportunidades de la ciencia y la ingeniería - Materiales**

El acelerado crecimiento del consumo, la emisión de gases y la amenaza de escasez de recursos naturales, junto a la inequidad en el bienestar de las naciones, emiten un mensaje de urgencia sobre la viabilidad del actual modelo socioeconómico basado en el consumo. Es necesario "desacoplar" el crecimiento económico de la extracción de recursos naturales y disminuir la intensidad del consumo de materiales, UNEP, 201<sup>15</sup>. El reto es complejo: mantener los niveles de calidad de vida logrados en los países industrializados al tiempo que se permite el avance económico y social de las naciones menos desarrolladas, con el compromiso de minimizar el consumo de los recursos naturales y el deterioro del ambiente (National Research Council, 1999<sup>16</sup>, (ONU)<sup>17, 18</sup>, (OCDE)<sup>19</sup>)

El desarrollo sostenible establece como metas el bienestar humano, la viabilidad económica y la preservación del medio ambiente; para alcanzar esos objetivos es necesario reducir el consumo global de recursos y disminuir el impacto ambiental negativo. La realidad muestra que las acciones de las industrias, los consumidores y los gobiernos distan mucho de las premisas definidas para el desarrollo sostenible; parece que hay dos caminos para responder al reto: 1) Continuar la cómoda forma de vida actual, asumiendo que, en un futuro cercano, la escasez de recursos y los altos niveles de contaminación tendrán consecuencias impredecibles. 2) Reinventar la forma de vida, sin renunciar a los avances alcanzados, abandonando la idea de hacer para después limpiar; esto requiere cambios en el ciclo completo desde la producción al consumo y en las tecnologías

de obtención de energía. Es necesario un rediseño de los procesos y productos industriales y de la formas de suministrar, empacar, transportar, etc. En conclusión, las políticas implementadas deberán traer como resultado concreto mayor eficiencia energética y reducción de la intensidad de consumo de materiales<sup>20,21</sup>. En este objetivo social los especialistas en materiales tienen roles importantes: diseñar nuevos materiales, mejorar la eficiencia en las aplicaciones, optimizar los procesos de producción y desarrollar tecnologías de reciclaje.

A continuación se presentan de forma resumida los retos tecnológicos del futuro en los cuales la ciencia y la ingeniería de materiales tienen oportunidades de participación en el desarrollo de nuevos productos, sistemas o materiales.

### 2.3.1. **Energía**

Uno de los más grandes retos tecnológicos es la obtención de energía a partir de fuentes diferentes al carbono, lo que se ha llamado “energías de bajo carbono”. La disponibilidad de petróleo y gas es finita, el agotamiento de esos recursos tiene el tiempo medido; el carbón, el recurso más abundante, es uno de los mayores contaminantes del agua y el aire, y contribuye a la acumulación de dióxido de carbono en la atmosfera. La respuesta a este reto es cambiar el comportamiento del consumidor, la tecnología utilizada o el combustible empleado; esos cambios requieren esfuerzos para encontrar soluciones tecnológicas apropiadas, económicas y viables. Las energías solar y la eólica son ambientalmente amigables y son fuentes inagotables y las tecnologías básicas para su utilización están desarrolladas, pero su eficiencia es muy baja lo que genera retos para las diferentes disciplinas, incluida el área de materiales. Fig 3.

**Energía Solar:** La mayor limitación en la energía solar es la baja eficiencia de conversión de las celdas solares, entre 10% y 20% de la energía recibida se transforma en energía; esto hace que los precios del Kwh sean hasta seis veces mayores que los sistemas convencionales. La eficiencia teórica de las celdas solares comerciales es de 31%, basadas en las propiedades electrónicas del silicio. Este es el reto para los investigadores de materiales:

- **Materiales Alternativos:** encontrar nuevos materiales o combinaciones de ellos;
- **Nuevas escalas de interacción de los rayos solares,** se auguran buenos resultados con la implementación de nanocristales que podría llevar la eficiencia al 60%.
- **Costos y procesamiento:** el desempeño depende en gran parte de la pureza del silicio, las impurezas bloquean el flujo de las cargas; como alternativas se ha planteado el cambio de material, la fabricación de recubrimientos.

**El almacenamiento:** Al ocultarse el sol la disponibilidad de energía se termina. Se requiere de sistemas complementarios para el almacenamiento de la energía colectada; existen diversas opciones como bombeo de agua, bancos de baterías,

entre otros. Nuevos materiales pueden ofrecer alternativas con base en propiedades magnéticas y eléctricas.

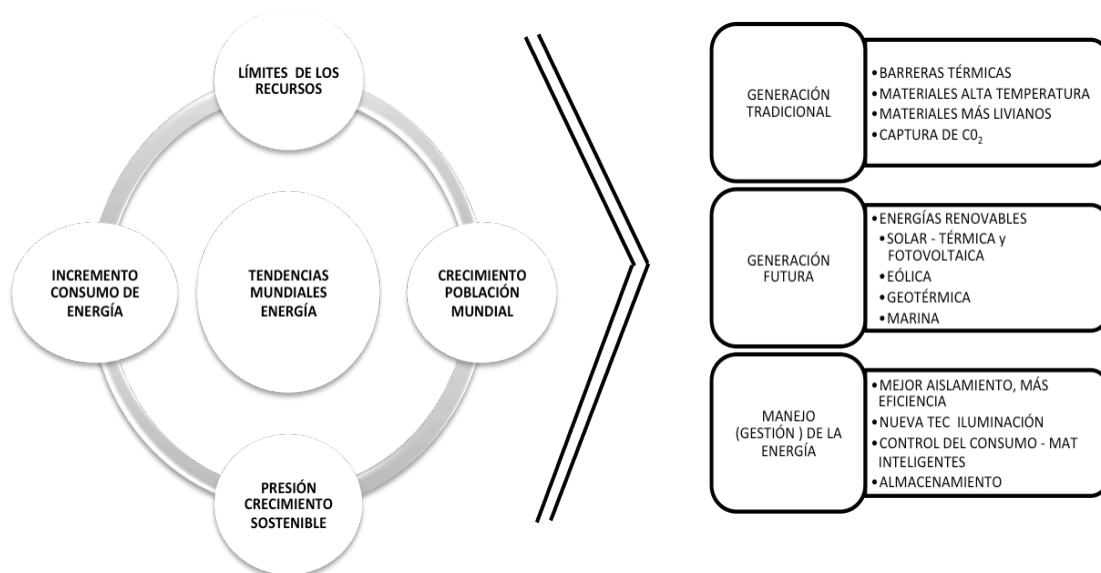


Figura 3. Tendencias mundiales relacionadas con la energía y los retos para Ciencia y Tecnología de Materiales.

En el caso de la energía solar térmica también hay oportunidades de nuevos desarrollos en los temas relacionados con el almacenamiento de la energía en forma de calor. La construcción de grandes sistemas exige materiales estructurales de alto desempeño, relación resistencia/peso; la eficiencia de los materiales utilizados en la transferencia de calor y aislamiento es un reto de interés para el área de materiales.

**Energía Eólica:** la producción de este tipo de energía cuesta hoy un 25% de su costo en 1980, ganancia conseguida con el aumento de tamaño y eficiencia de las turbinas. Pero hay retos interesantes en el área de materiales:

- Reducción de peso y aumento de las propiedades de los materiales para alabes; o sea una relación resistencia-densidad benéfica;
- Desarrollar nuevos materiales para magnetos, reemplazando tierras raras.
- Los materiales usados en la transmisión de los generadores, deben mejorarse ya que trabajan en ambientes agresivos: recubrimientos para protección frente a la erosión y el desgaste.

**Iluminación:** Una componente importante del consumo energético es gastado en la iluminación. En este campo la evolución ha sido vertiginosa, con un balance

positivo en el aumento de la eficiencia, pero que deja preguntas importantes sobre aspectos ambientales. El cambio tecnológico en la iluminación residencial, de oficinas e instituciones y de exteriores es la muestra clara del logro de aumento de eficiencia energética. Partiendo de lámparas incandescentes con eficiencias inferiores al 10% se ha avanzado hasta eficiencias cercanas al 95% como la encontrada en las lámparas LED; logros semejantes se relatan en la durabilidad de los componentes. La tabla dos presenta un cuadro comparativo de eficiencias y durabilidad de los diferentes tipos de elementos usados en iluminación.

Al lado de los avances en eficiencia y durabilidad, están los problemas ambientales al desecho de las lámparas fundidas. Al igual que ocurre con los tubos fluorescentes, las compactas tiene una pequeña cantidad de mercurio, elemento de alta toxicidad, lo que genera restricciones en la forma de desecharlas, a la vez que se demanda el desarrollo de métodos de reciclaje y deposición final, nuevo reto para la ingeniería. Otro aspecto ambiental importante.

Tabla 1. Comparación de consumos de energía entre las diferentes tecnologías utilizadas en iluminación. Obsérvese la disminución de consumo si se toma como referencia una lámpara de 100 watts

INCANDESCENTE	COMPACTA CFL	CCFL ó T-Thin	LED
25 W	5 W	-	4,5 a 9
40 W	8 W	5 W	6 a 12 W
60 W	12 W	7 W	5 W
75 W	15 W	11 W	10 W
100 W	18 W	14 W	12 W
125 W	25 W	18 W	15 W
150 W	30 W	23 W	20 W

### 2.3.2. Infraestructura urbana

El mantenimiento y la modernización de la infraestructura es un reto generalizado, principalmente para las grandes ciudades que exigen al máximo la infraestructura; el paso del tiempo, el uso intensivo y la necesidad de hacer adecuaciones a los nuevos sistemas tecnológicos, convierten el mantenimiento de edificios y sistemas de transporte y comunicación en un reto importante para la ingeniería. Iniciativas de esta naturaleza, generan proyectos de gran complejidad donde confluyen diversas áreas de la ingeniería y de otras especialidades. En

específico, la ciencia e ingeniería de materiales tienen aportes importantes para hacer.

- Se requiere de edificios más eficientes desde el punto de vista estructural, energético, de espacios, etc.
- El desarrollo de nuevos materiales, con relaciones altas de resistencia/peso que permitan construcciones más ligeras, con menor consumo de materiales; la nanotecnología puede ser de gran ayuda en este reto, los métodos de fabricación átomo/átomo, molécula/molécula permitirán obtener materiales de altas especificaciones.
- Los métodos y procesos constructivos son un reto mayor; la eterna construcción manual hace ineficiente y costosa la construcción.
- La fabricación de compuestos, con base en materiales naturales hace posible la creación de estructuras ligeras, con buen desempeño, más amigables con el medio ambiente.

### 2.3.3. Transporte

En los aspectos sociales (movilidad), económicos y ambientales el transporte es una de las áreas tecnológicas que más exige de la ingeniería. Como objetivo social siempre será deseable disponer de sistemas de transporte masivo interconectados, sistemas viales instrumentados (robotizados) y que generen poca contaminación, con el objetivo de desestimular el uso del transporte individual. Frente a la tecnología de los vehículos, siempre se espera que sean más ligeros, de menor consumo de combustible, o con nuevas fuentes de potencia, con mayor control de la contaminación, que ofrezca alta seguridad en marcha y bajo riesgo en accidentalidad, con componentes reciclables en su mayor parte; en estos tópicos de la ingeniería, la especialidad en materiales tiene grandes retos por enfrentar.

**Nuevas fuentes de potencia:** Uno de los éxitos más contundentes en la lucha contra la emisión de gases tipo invernadero es el desarrollo tecnológico del carro eléctrico, ya que su polución directa es mínima. Aquí el reto es múltiple para el área de materiales: más eficiencia en la utilización de materiales conductores (cobre, ej), desarrollo de acumuladores de energía (baterías), sistemas electrónicos, entre otros.

**Vehículos más livianos:** En el sector de fabricación de automóviles la relación potencia/peso del vehículo interviene en la eficiencia, o sea en el consumo de combustible. Grandes avances y retos para la ciencia e ingeniería de materiales se pueden anotar:

- La utilización de aceros de alta resistencia mecánica (HSS steel) ha permitido disminuir el peso del cuerpo del vehículo en cerca del 20% desde el año 2000.

- La incorporación de aleaciones ligeras en las carrocerías y en algunos componentes puede significar reducciones de peso del orden del 40%.
- Los materiales compuestos de alta relación resistencia/peso, con refuerzos de fibras de vidrio de carbono, asociados a procesos de fabricación que garantizan propiedades y homogeneidad, tiene aplicaciones futuras interesantes.
- La aplicación de materiales poliméricos siempre ha ocupado un lugar de avanzada en la fabricación de vehículo; el reto actual es lograr la reciclabilidad de los polímeros utilizados.

**Otras aplicaciones:** en el transporte hay posibilidad de implementar materiales inteligentes, materiales solares (fotovoltaicos) que capturan energía para consumo del vehículo, materiales conductores alternativos al cobre, recubrimientos externos que reflejan el calor (nanotecnología), recubrimientos antidesgaste, etc.

#### 2.3.4. Medio ambiente - materias primas estratégicas

Las tecnologías en proceso de desarrollo para la producción de energía, la iluminación eficiente, las comunicaciones y el transporte (vehículos eléctricos) entre otras, están en sus inicios de implementación. Un escenario futuro, dos o tres décadas, que muestra una masificación de esas “tecnologías limpias” también permite prever un acelerado incremento en la demanda de materiales especiales (tierras raras), de poca abundancia en la corteza terrestre. Esto crea retos para el sector minero, relacionado con la extracción y procesamiento de estos materiales, y riesgos para las empresas del sector tecnológico de que utiliza esas materias primas. Pero lo más importante, es que se trata de una oportunidad de nuevos desarrollos, nuevos negocios, principalmente para un país minero como Colombia.

Como ejemplo se puede considerar los elementos estratégicos considerados críticos por el Departamento de energía de los Estados Unidos, asociados a los desarrollos de nuevas tecnologías de energía, que son considerados de riesgo para el suministro:

- Baterías para vehículos eléctricos: lantano, cerio, praseodimio, neodimio, cobalto, manganeso y litio.
- Magnetos para vehículos eléctricos y turbinas de viento: neodimio, praseodimio y disprosio, con samario y cobalto como potenciales substitutos.
- Fósforo para iluminación eficiente: lantano, cerio, europio, atrio, terbio.
- Películas finas para celdas solares: Indio, galio, telurio.

Especial atención merecen los minerales utilizados para producir las nuevas tecnologías, como algunos metales y óxidos especiales (tierras raras), cuya demanda creciente oscurece el panorama del abastecimiento y puede generar tensiones económicas dada la concentración de su producción en algunos países.



Finalmente, un reto muy grande para la ciencia, ingeniería y la tecnología de materiales es el aumento de la eficiencia del uso de materiales, así como el desarrollo de tecnologías de reciclaje que permitan recuperar un alto porcentaje de los materiales valiosos antes de que lleguen a los rellenos, donde la recuperación es una tarea difícil.

Colombia se proyecta desde los programas de gobierno como un país minero por excelencia. Sin embargo, la minería de minerales estratégicos aún no es reconocida; su exploración y explotación requieren de una base de conocimientos científicos y tecnológicos más avanzada que la minería tradicional.

## **2.4. El ejercicio profesional - La comunidad de materiales.**

Como fue descrito antes, la visión sistémica de la relación entre la estructura del material, el procesamiento, las propiedades y el desempeño, ha facilitado el desarrollo de nuevos materiales y la optimización en la aplicación de materiales convencionales. Ese sistema complejo promueve la participación de múltiples actores vinculados a diferentes disciplinas y con diversos niveles de formación. Científicos, vinculados a la ciencia y al ingeniería, ingenieros de diversas disciplinas y técnicos que laboran en la industria o en laboratorios de investigación y desarrollo. Este grupo, junto con los empresarios, profesionales encargados de la gestión técnico comercial y los agentes de las políticas de ciencia y tecnología forman una “*comunidad de materiales*”. Este término es usado de manera estratégica por el proyecto *Materials UK*, del Reino Unido (<http://www.matuk.co.uk/index.htm>), para describir la asociación entre la industria, la academia, los gestores de política estatal y otras organizaciones. En la figura 3 se puede observar como durante el flujo que siguen las materias primas hasta convertirse en un producto entregado al usuario, se identifican las *actividades primarias*, que corresponden a la producción industrial que termina con el ensamblaje del producto final y la entrega al consumidor, y las *actividades de apoyo*, relacionadas con capital intangible como conocimiento, formación de recurso humano, regulaciones, etc. Ver fig 4.

Las actividades desempeñadas por los ingenieros de materiales en España y otros países, descritas en el Libro Blanco de los Materiales ESTUDIOS DE GRADO EN INGENIERÍA DE MATERIALES, de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación de España (ANECA, 2005)<sup>22</sup>, son una base excelente para construir una representación de esa comunidad. Cinco grupos de actividades relacionadas con la profesión se distinguen en ese documento:

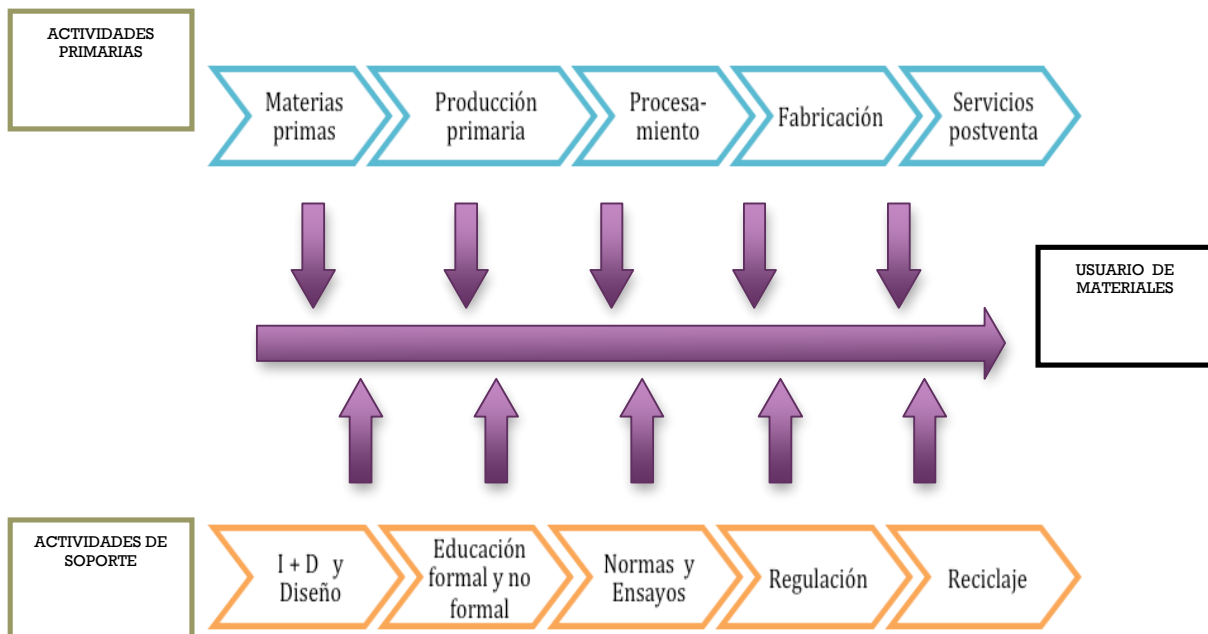


Figura 4. Actividades desarrolladas por la Comunidad de materiales. Adaptación del autor con base en A Strategy for Materials (ref. 12.)

#### G1. Producción de Materiales:

Se relaciona principalmente con el procesamiento en todo el ciclo de vida del material, desde su concepción y diseño hasta la reutilización o reciclaje. Incluye actividades como el procesamiento de materias primas para la obtención de productos semielaborados metálicos, cerámicos, poliméricos o compuestos. A su vez este grupo se divide en campos de acción más específicos como: Diseño, selección y optimización de materiales; diseño de procesos de producción y transformación de materiales y la reutilización, recuperación y reciclaje de los mismos.

En la industria metalúrgica, los Ingenieros de Materiales pueden actuar en las etapas del procesamiento que van desde el beneficio del mineral hasta los distintos métodos de fabricación de semielaborados: fundición, forja, laminado, estirado, etc. También incluye los procesos secundarios como son soldadura, pegado, pintado, protección química, entre otros. En la industria de los materiales cerámicos, adicional a los productos tradicionales, los retos son el desarrollo de nuevos materiales y procesos para obtener productos con alta exigencia en propiedades: fibra óptica, revestimientos de barrera térmica y antifricción, hormigones especiales, materiales para disco de freno, aislantes eléctricos, filtros, etc. En la industria del plástico los ingenieros de materiales se enfocan en los procesos productivos (inyección, extrusión, etc), en la evaluación de

propiedades, en el desarrollo de nuevos tipos de plásticos y en el desarrollo de nuevos productos.

Los materiales compuestos son uno de los mayores retos para la ingeniería de materiales. Los compuestos de matriz polimérica son en la actualidad la base de avances importantes en la industria automovilística, aeronáutica, naval, etc. Los materiales compuestos de matriz metálica reforzados con partículas cerámicas permiten obtener propiedades especiales para el uso en aplicaciones donde la resistencia al desgaste debe ser una característica esencial. Vale destacar aquí, que la base del éxito está en el entendimiento del sistema estructura-procesos-propiedades-desempeño.

## G2. Control de Materiales:

Este es un campo de acción de gran impacto en la calidad final de los materiales y productos elaborados; es clave para enfrentar las exigencias de calidad de los productos que puedan llegar a mercados globalizados. La caracterización química y física; la evaluación de las propiedades mecánicas, térmicas, magnéticas, etc.; la proyección de la durabilidad y la protección de los materiales frente a agentes del ambiente, entre otras son las actividades más relevantes.

## G3. Gestión y Servicios Relacionados con los Materiales

Este renglón de las actividades se puede describir como la gestión de conocimiento, tecnología y emprendimiento en el área desde el sector privado. Es un componente importante de la ocupación en ingeniería en países desarrollados, donde las consultorías y asesorías, el análisis y la homologación de materiales y el emprendimiento en el área de transformación de materiales son generadores de empleo de buena calidad. Se debe destacar como áreas emergentes los biomateriales, la biotecnología y la nanotecnología, donde la ingeniería de materiales puede jugar un rol importante con la visión sistémica ya descrita.

## G4. Medio Ambiente: Uso Sostenible de los Materiales.

Este es un área poco explorada en nuestro medio, pero frente al daño ambiental generado por el acelerado aumento del consumo de materiales y los riesgos de déficit de suministro de materiales estratégicos, en un futuro no muy lejano será considerada como de alto impacto económico y social. En especial, la gestión de residuos en los sistemas productivos con el objetivo de aumentar la vida útil de los materiales, será apreciada desde el punto de vista económico y ambiental, lo que motivará la especialización de profesionales en esta área.

## G5. Investigación y Docencia

En Colombia se considera que hay un grupo numeroso de profesionales y científicos que desempeñan funciones de docencia e investigación, principalmente en instituciones de educación superior, públicas y privadas, y en menor grado, en institutos de investigación y desarrollo. Es importante destacar que esos investigadores tienen formación en diversas disciplinas como la física, la química y diferentes ramas de la ingeniería (mecánica, geológica, minas, civil, agrícola, química, física, etc).

Como comentario final a esta descripción de la profesión y la comunidad de materiales, es válido destacar que el avance para un país en esta área estratégica depende de dos factores, a saber:

- Que del desarrollo en Ciencia, Ingeniería y Tecnología de materiales requiere una base de conocimiento compleja, la relación entre procesos, estructura y composición del material, en las diferentes escalas (atómica, microscópica y macroscópica), es requisito para tener éxito en el diseño y la aplicación de materiales. Sobre esta base también se deben desarrollar las competencias de los profesionales que enfrentan las tareas de diseñar nuevos materiales y optimizar el desempeño de los tradicionales, de manera económica y reproducible.
- El segundo factor clave para el éxito en citem es la existencia del liderazgo necesario para la formación de una *comunidad de materiales*, que identifique retos nacionales, con mirada al mundo globalizado, y los convierta en oportunidades para la ciencia, la ingeniería y la industria nacionales; se sugiere tomar como base los campos de acción descritos, e ilustrados en la figura 5.

La evidencia clara de la pertinencia de los programas de formación en ciencia e ingeniería de materiales, en todos los niveles, es el efecto positivo que su implementación ha tenido en economías avanzadas. Los Estados que han fortalecido el conocimiento científico en el área de materiales han entrado a participar del mercado de producto de alto valor agregado en diversas ramas de la tecnología, con beneficios para sus economías, mejor empleo y mayor capacidad tecnológica. Es conveniente citar algunos ejemplos.

En los Estados Unidos la formación en materiales ha evolucionado a partir de los programas de metalurgia, cerámica y polímeros hacia la estructuración de grandes escuelas y programas de Ciencia e Ingeniería de Materiales. Flemings y Cahn (2000)<sup>23</sup> reportan para el año 1997 la existencia de 104 programas de formación en materiales, incluyendo los orientados a la formación específica en algún grupo de materiales (polímeros, metales, cerámicos) y los asociados con otras áreas de formación (mecánica y materiales, química y materiales, por ej.). La disminución de la importancia estratégica de las industrias de materiales básicos en la década del 80 y el final de la guerra fría, en los años 90, generaron grandes cambios en la investigación y en la formación en Ingeniería y Ciencia de Materiales. A partir

de la década del 90 se inició una presión para incluir una gama amplia de materiales en el currículo, la inclusión de una mirada interdisciplinaria y la generación de capacidades de investigación en la formación de los egresados.

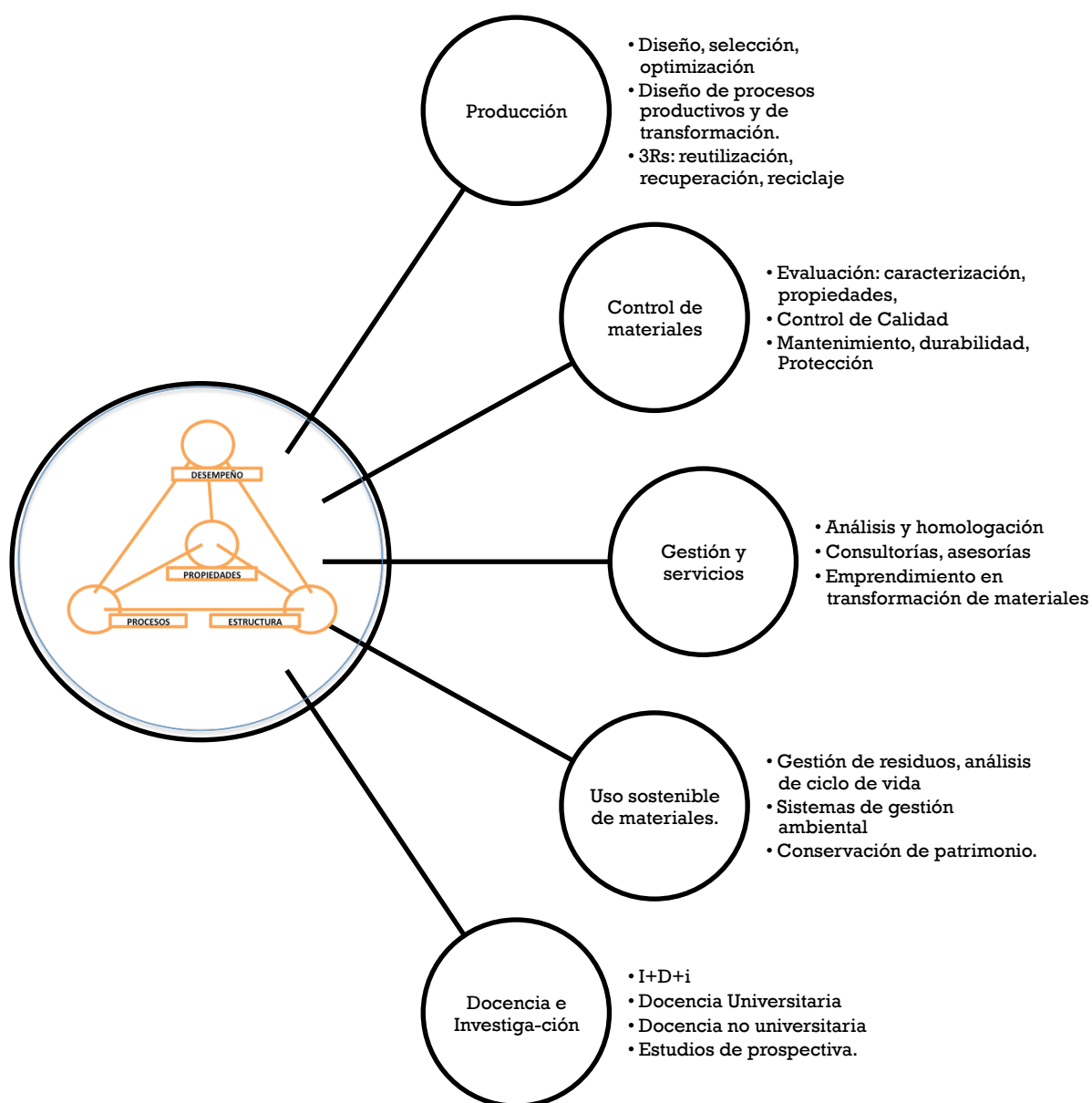


Figura 5. Campos de acción de la ciencia e ingeniería de materiales. Adaptación del autor de textos libro blanco de la ingeniería de materiales (España).

En el Reino Unido el desarrollo de ingeniería y la ciencia de materiales como una disciplina universitaria surge en la mitad del siglo XX como la consecuencia la fusión de cursos sobre metalurgia, ciencia de los polímeros, física, química inorgánica, mineralogía, tecnología del vidrio y la cerámica y física del estado sólido, con el objetivo de incluir todos los materiales estructurales y funcionales, lo que la convirtió en una de las disciplinas más amplias en la educación superior. Para la fecha de este reporte (2008) el Reino Unido cuenta con cerca de 100 programas de pregrado relacionados con los materiales, en ellos se incluyen énfasis variados como biomateriales, aeroespacial, biomédicos, materiales deportivos, nanotecnología, entre otros (Center for Materials Education, UK, 2008)<sup>24</sup>

En Taiwán, gracias a las decisión mencionada por Lee (ref 14), ocurrió un incremento del número de departamentos de Ciencia e Ingeniería de Materiales en el país, pasando de uno (1) en 1972 a 12 (doce) en el 2001; las escuelas de graduados en esa área pasaron de 1 en 1975 a 16 en 2001. Aun así, ese aumento importante, que reporta 800 graduados para 1999, es considerado insuficiente para la demanda de la industria de alta tecnología de Taiwan.

La Academia Nacional de la Ciencia y la Ingeniería de Alemania, en un estudio realizado en el año 2008 (ver ref 13), mostró preocupación por falta de reconocimiento público hacia los materiales como sector estratégico; la presencia de estudiantes en los programas de ciencias e ingeniería es baja y la investigación es realizada principalmente en las disciplinas clásicas de la ingeniería. Se diagnosticó la existencia de enlaces abiertos en la cadena material-producto final, que generan atrasos en la creación de productos innovadores basados en resultados de investigación. Se recomendó estimular la transferencia de conocimiento en todos los niveles de la cadena material-producto a través de redes de trabajo y cooperación entre actores del sistema; se recomienda, por ejemplo el intercambio de investigadores de la industria y las instituciones de investigación científica.

El panorama en America Latina, mirado a través de número de programas de pregrado y posgrado en el área muestra una gran actividad. El Brasil cuenta con 53 programas curriculares activos en el área de Ingeniería de Materiales (<http://emec.mec.gov.br/>); 28 programas de posgrado con la denominación de ingeniería de materiales y metalurgia y 6 programas de posgrado en ingeniería de minas, de un total de 382 de la gran área de ingenierías. (<http://conteudoweb.capes.gov.br/conteudoweb/ProjetoRelacaoCursosServlet?acao=pesquisarGrandeArea> )

En el caso de Argentina en la página de Guía de Carreras Universitarias 2012 del Ministerio de Educación, se registran cinco programas de ingeniería de materiales y tres cursos de formación de técnicos en Metalurgia y en Plásticos; en posgrados se ofrecen 12 programas en ciencias o ingeniería de materiales, 1 en

gestión de recursos de minerales y 1 como magíster en metalurgia extractiva  
[http://ofertasgrado.siu.edu.ar/carreras\\_de\\_posgrado.php](http://ofertasgrado.siu.edu.ar/carreras_de_posgrado.php).

En Chile, el sistema consulta de carreras reporta del orden de 34 programas de pregrado en ingeniería civil, con énfasis en Minas, metalurgia, materiales, minerales o metalurgia extractiva, una actividad intensa de formación de recurso humano en el área para el tamaño del país.

(<http://www.mifuturo.cl/index.php/donde-y-que-estudiar/buscador-de-carreras> )

### 3. El contexto Nacional y el desarrollo de Capacidades en Tecnología de Materiales en Colombia.

#### 3.1. El área de Ciencia, Ingeniería y Tecnología de Materiales en Colombia.

El sector que se ocupa de la transformación de materiales en Colombia no tiene tradición innovadora, su competitividad ha dependido básicamente de la incorporación de tecnologías adquiridas en países desarrollados; los recursos minerales extraídos (commodities) son comercializados como materias primas, con poco valor agregado. Se requiere con urgencia estrategias de modernización del sector, máxime cuando el país ha definido la apertura de sus fronteras al comercio global, como lo indican los Tratados de Libre Comercio con diferentes regiones y países: Canadá, Estados Unidos, Europa, Corea, Centro America, etc.

El área de tecnología relacionada con la transformación de materiales no está incluida en los programas definidos por el Departamento Colombiano de Ciencia y Tecnología (Colciencias) (<http://www.colciencias.gov.co/>); las actividades de investigación y desarrollo o propuestas investigativas de universidades y sector productivo quedan inmersas o subyacen en áreas como minería y energía, en biotecnología, en desarrollo industrial, ciencias básicas, entre otros. Este hecho, dificulta el fortalecimiento de la comunidad de materiales y la identificación de la Ciencia, Ingeniería y Tecnología de Materiales (citem) como un área estratégica de país, como lo han definido naciones de Europa, Asia y América.

En las dos últimas décadas se ha observado un esfuerzo creciente de la actividad investigativa en materiales en Colombia a través de grupos de investigación y de programas académicos de pregrado y posgrado que buscan la solución de problemas de materiales desde las ciencias o la ingeniería; esto es, maestrías o doctorados en física, química o ingeniería con énfasis en materiales o desde temas estratégicos como biotecnología, nanotecnología, biomateriales, etc. A continuación se presenta un listado de los programas académicos de posgrado más reconocidos.

También ha ocurrido un incremento fuerte en la dotación de equipos para caracterización y procesamiento en universidades y centros de investigación. Aunque no es suficiente para acompañar los rápidos desarrollos en el mundo de los materiales, ha permitido la formación de recurso humano en posgrado y la interacción con la industria en la búsqueda de innovaciones basadas en resultados de investigación. La industria también ha mostrado avances en el desarrollo de capacidades tecnológicas que se manifiestan en la incorporación de investigadores o la capacitación del personal vinculado, en un mayor



acercamiento a las universidades a través de mecanismo de convocatorias de investigación y desarrollo abiertas a la comunidad académica.

*Tabla 6. Programas académicos de pregrado, maestría y doctorado en el área de materiales ofrecidos en Colombia, activos según el sistema de información de SNIES del Ministerio de Educación Nacional.*

PROGRAMAS	NÚMERO	UNIVERSIDADES - INSTITUCIONES
INGENIERÍA DE MATERIALES	7	Antonio Nariño (3), U de Antioquia, Autónoma del Caribe, U del Valle, San Buenaventura.
ESPECIALIZACIONES	2	EAFIT, ITM (Instituto Metropolitano Medellín)
MAESTRÍAS	7	U de Antioquia, U Nacional (2), U Industrial de Santander, U Pedagógica y Tecnológica, U Francisco de Paula Santander, U del Valle, U del Quindío
DOCTORADOS		U de Antioquia, U Pedagógica y Tecnológica, Industrial de Santander, Universidad Nacional (2), U del Valle.

Como falencia estructural de esta área del conocimiento, se puede contar que **no existe** una “comunidad de materiales”, identificada que promueva la unión de esfuerzos hacia áreas claves de la tecnología de materiales. Ni en el entorno académico se observa la idea de formación de comunidades de práctica o redes temáticas. Una muestra clara de este fenómeno es la proliferación de eventos de carácter técnico, académico o científico que discuten resultados de investigación en ciencia, ingeniería o tecnología de materiales, que son realizados desde la mirada particular de las profesiones: ingeniería física, ingeniería química, ingeniería mecánica, química, física, entre otros, sin tener la visión sistémica de los elementos que conforman la ciencia e ingeniería de materiales. Un ejemplo concreto es la falencia de un encuentro académico, científico e industrial que reúna expertos en el tema de recubrimientos para protección o decoración, que desde diferentes miradas fortalezca esas tecnologías, que hoy en el mundo constituyen un sector económicamente atractivo.

En el contexto de ciencia y tecnología nacional, es importante afirmar que el área no tiene una identidad propia en los programas nacionales definidos por Colciencias (<http://www.colciencias.gov.co/>); así, las actividades de investigación y desarrollo o propuestas investigativas de universidades y sector

productivo quedan inmersas o subyacen en áreas como minería y energía, en biotecnología, en desarrollo industrial, ciencias básicas, entre otros. Este hecho, obviamente dificulta la construcción de la comunidad de materiales antes mencionada y la identificación de la Ciencia, Ingeniería y Tecnología de Materiales (citem) como un área estratégica de país, como lo han definido naciones de Europa, Asia y América. Se abona, la convocatoria recientemente realizada por Colciencias para la formulación de “un plan nacional de ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo de materiales en Colombia” (Junio 2012), con el apoyo del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF).

### **3.2. Oportunidades para el desarrollo de capacidades en tecnología de materiales.**

El desarrollo de capacidades tecnológicas nacionales en algún sector de la economía o la tecnología es el resultado de inversiones en recursos físicos (maquinaria, infraestructura), capital humano (conocimiento) y en la organización de los sistemas de ciencia, tecnología e innovación; se identifican tres niveles en la acumulación de capacidades tecnológicas: el microeconómico (empresas), el nacional (macroeconómico) y el sectorial (mesoeconómico)<sup>25</sup>. Su dinámica es determinada por factores externos e internos, como los mercados nacionales e internacionales, con sus incentivos y asimetrías; la modernización y fortalecimiento tecnológico de las PYMES y su capacidad de negociación de tecnología y las políticas de articulación estratégica de los actores claves para la transferencia de conocimiento y la innovación (universidades, empresas, estado). En la tabla 5 se presenta una matriz de interacción de los elementos clave para la construcción de capacidades tecnológicas, Actores, Factores y Políticas.

El sector económico y tecnológico de materiales, que incluye el procesamiento de materias primas, la producción de semielaborados, el diseño de nuevos materiales y procesos para aplicaciones específicas, el comercio de insumos y el reciclaje es considerado estratégico por varias naciones desarrolladas y organismos multilaterales<sup>26</sup>. El éxito del sector en el contexto global depende de su capacidad de apropiación y generación de tecnologías, que son la base para la generación de una cultura innovadora.

A continuación se hace un despliegue de los factores principales que afectan el desarrollo tecnológico (incorporación de conocimiento a las materias primas) y que pueden ser utilizados para apalancar la iniciativa de fortalecer el área de ciencia, ingeniería y tecnología de materiales en Colombia.

Tabla 5. Elementos claves en la construcción de capacidades tecnológicas. Matriz de factores, Actores y Políticas

<b>ACTORES</b>	<b>FACTORES</b>	<b>POLÍTICAS</b>
<b>ESTADO</b>	<p>Mercados: Tratados de Libre Comercio (TLC): apertura que genera retos de competitividad;</p> <p>Permanente cambio tecnológico: Nuevos materiales, procesos y tecnología disponibles.</p> <p>Plan nacional de desarrollo, sectores claves para la economía.</p>	<p>Impulso al Sistema Nacional de CTI.</p> <p>Estímulos a la exportación, Incentivos fiscales a la investigación e innovación. Normatividad.</p>
<b>EMPRESAS</b>	<p>Inversión en recursos (físicos, humanos, conocimiento),</p> <p>Nuevas tecnologías, proyectos de I+D,</p>	<p>Programas de actualización tecnológica de procesos.</p> <p>Capacitación en negociación de tecnología</p>
<b>UNIVERSIDADES</b>	<p>Diferenciación de universidades, Formación e investigación; Formación en áreas estratégicas.</p> <p>El entorno exige modelos efectivos de gestión de I+D+i;</p> <p>Relación con la industria ha evolucionado.</p>	<p>Infraestructura de investigación.</p> <p>Gestión de la innovación</p> <p>Emprendimiento de base tecnológica</p> <p>Transferencia de conocimiento</p> <p>Participación en comunidades especializadas (materiales).</p>
<b>AGENCIAS DE FOMENTO, CENTROS, INSTITUTOS</b>	<p>La visibilidad: varios componentes – artículos, patentes, desarrollos, licencias;</p> <p>Formación de recurso humano: Ph.D.</p>	<p>Participación redes,</p> <p>Alianzas con universidades nacionales e internacionales.</p> <p>Asociación con industrias.</p>

### 3.2.1. Plan de Desarrollo Nacional 2010-2014.<sup>27</sup>

La innovación es considerada por el actual gobierno como un pilar fundamental en el plan de desarrollo nacional 2010-2014, es una declaración explícita de la

importancia que tienen el conocimiento y la innovación en las estrategias para alcanzar los objetivos de crecimiento económico sostenible:

Se afirma que “Más que desarrollar estrategias para generar innovación en el aparato productivo, se requiere fomentar una cultura de innovación en todas las esferas del Estado incluyendo, por supuesto, el sector empresarial, las universidades, y la sociedad civil.”

“Innovar no sólo significa desarrollar nuevos productos y transformar los productos existentes. Consiste en crear nuevas formas de organizar, gestionar, producir, entregar, comercializar, vender y relacionarse con clientes y proveedores; logrando, en última instancia, generar valor agregado a través de toda la cadena productiva. Es por esto que la innovación y la inversión en investigación y desarrollo no son exclusivas a los sectores de alta tecnología. Por lo contrario, deben ser parte vital de todos los sectores económicos y hacerse extensivos a todos sus eslabonamientos.”

Pero, el propio plan presenta un diagnóstico sobre el estado de la innovación en Colombia y las razones que lo explican:

“En la actualidad, Colombia evidencia un rezago considerable frente a países de características similares en el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación. A modo ilustrativo, la inversión total en investigación y desarrollo en Colombia es del 0,2% del PIB; un nivel muy bajo en comparación con países como Argentina, que invierte el 0,5%; Chile el 0,7%; Brasil el 0,8%; o Corea del Sur el 3,2%.”

“La explicación de ésta y otras brechas del país en innovación se da, entre otros, por: (i) debilidad institucional, (ii) insuficiente uso de los mecanismos de protección de los derechos de propiedad intelectual, (iii) limitado acceso a instrumentos financieros para los emprendimientos innovadores, especialmente acceso a recursos de capital semilla, (iv) bajo uso de las TIC, (v) insuficiente capital humano altamente calificado en áreas pertinentes y con énfasis en la innovación, (vi) pocos mecanismos para atraer al país a colombianos residentes en el extranjero con potencial de aportar al desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación, (vii) limitaciones técnicas y multiplicidad de funciones de la autoridad de competencia.”

### ***Estrategias de crecimiento económico e innovación.***

El Plan Nacional de Desarrollo tiene ocho componentes que son clasificadas como, figura 6.

- Política de convergencia y desarrollo regional; disminución de desigualdades regionales

- Ejes transversales (4): innovación, buen gobierno, relevancia internacional y sostenibilidad ambiental;
- Pilares de acción (3): crecimiento sostenible y competitividad, igualdad de oportunidades y consolidación de la paz.



Figura 6. Ejes del plan Nacional de desarrollo de Colombia, 2010-2014.

El área de Ciencia, Ingeniería y Tecnología de Materiales tiene responsabilidades de participación en las estrategias de innovación y en las acciones derivadas de las políticas de crecimiento sostenible y competitividad, cuyo despliegue contempla tres grandes componentes: 1) la innovación para la prosperidad; 2) las políticas de competitividad y crecimiento de productividad y 3) las locomotoras para el crecimiento y la generación de empleo. El gobierno se propone alcanzar logros históricos en la cultura de emprendimiento, de innovación y de competitividad del sector productivo. Ver tabla 6.

Tabla 6. Componentes del plan de Nacional de Desarrollo 2010-2014 y los propósitos relacionados con el sector de Tecnologías de Materiales

COMPONENTE	PROPOSITOS
<b>Innovación para la prosperidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impregnar una cultura de innovación y emprendimiento en todas las esferas del Estado incluyendo, por supuesto, el sector empresarial, las universidades, y la sociedad civil.</li> <li>• Crear nuevas formas de organizar, gestionar, producir, entregar, comercializar, vender y relacionarse con clientes y proveedores; logrando, en última instancia, generar valor agregado a través de toda la cadena productiva.</li> <li>• Llevar la innovación y la inversión en investigación y desarrollo a todos los sectores económicos y todos sus eslabones; investigación e innovación no son exclusivas a los sectores de alta tecnología.</li> <li>• Consolidar una cultura de innovación en la industria, el sistema educativo, las organizaciones sociales, las instituciones públicas y territoriales, las fuerzas militares; entre los niños y jóvenes, en las zonas rurales, y en general, en todas las esferas de la sociedad.</li> </ul>
<b>Competitividad y crecimiento de la productividad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuir el porcentaje de informalidad laboral y empresarial, signos inequívocos de la baja productividad.</li> <li>• Fortalecer el Sistema Metrológico Nacional: expedir la Ley de Metrología, crear el Instituto Nacional de Metrología y suscribir al país en las convenciones de metrología internacionales.</li> <li>• Promover el diseño de productos de seguro para reducir la vulnerabilidad de la población, especialmente ante los riesgos asociados a eventos climáticos.</li> <li>• Consolidar la estrategia de gestión del recurso humano: (i) crear el Sistema Nacional de Certificación de Competencias, (ii) diseñar e implementar un Marco Nacional de Cualificaciones, (iii) establecer mecanismos de diálogo entre el sector productivo y el sector de formación, y (iv) profundizar la información de demanda y oferta laboral.</li> </ul>
	<p><b>LOS SECTORES BASADOS EN LA INNOVACIÓN.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hacia el futuro la economía colombiana necesita sectores de relevo, es decir, necesita impulsar las locomotoras de la innovación. La estructura productiva de Colombia es de baja productividad, está conformada por bienes y servicios de bajo valor agregado, y su concentración en bienes primarios basados en los recursos minero-energéticos es cada vez mayor.</li> <li>• El país requiere una transformación productiva; una transformación hacia productos basados en la innovación, especialmente hacia servicios de alto valor agregado que generen empleo calificado. Para este propósito, será necesario concentrar los</li> </ul>

<p><b>Locomotoras para el crecimiento y la generación de empleo</b></p>	<p>esfuerzos en algunos cuellos de botella como: (i) la baja inversión en investigación y desarrollo, (ii) la debilidad de las alianzas universidad-empresa-Estado, (iii) el limitado acceso al financiamiento de nuevos emprendimientos, (iv) la dispersión de los esfuerzos institucionales y de la asignación de recursos, y (v) la baja capacidad de formulación de proyectos de innovación en las regiones.</p> <p><b>EL SECTOR AGROPECUARIO:</b></p> <p>Aumentar la productividad del campo colombiano, con miras a aprovechar el enorme potencial para dar un verdadero salto económico y social en las zonas rurales del país. Considera el incremento de la demanda mundial y de precios de alimentos previstos para las próximas décadas; sumado a las ventajas comparativas de Colombia en este sector, es una oportunidad histórica.</p> <p><b>LA LOCOMOTORA DE VIVIENDA Y CIUDADES AMABLES.</b></p> <p>La demanda de vivienda que se genera con el mayor dinamismo económico y los eslabonamientos de este sector con múltiples y diversas actividades económicas. Viviendas más eficientes, más seguras, más económicas pueden ser obtenidas con el apoyo de la ciencia y la tecnología de materiales.</p> <p><b>LA INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE.</b></p> <p>La prioridad es superar la situación de rezago en la que se encuentra Colombia, tanto en términos de cantidad como de calidad. Lo anterior es especialmente relevante en el componente de transporte terrestre que representa más del 70% de las toneladas de carga transportadas anualmente por el país. En términos de diseño, desarrollo y calidad de materiales este proyecto constituye una oportunidad.</p> <p><b>EL SECTOR MINERO-ENERGÉTICO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consolidar el desarrollo de clusters basados en bienes y servicios de alto valor agregado en torno a los recursos minero-energéticos, es una oportunidad para el sector de ciencia y tecnología de materiales.</li> <li>• El desarrollo del sector minero-energético tiene una enorme responsabilidad de gestión ambiental. El desarrollo de esta locomotora no puede ir en contravía del desarrollo sostenible del país y de su conservación para las próximas generaciones.</li> </ul>
---	---

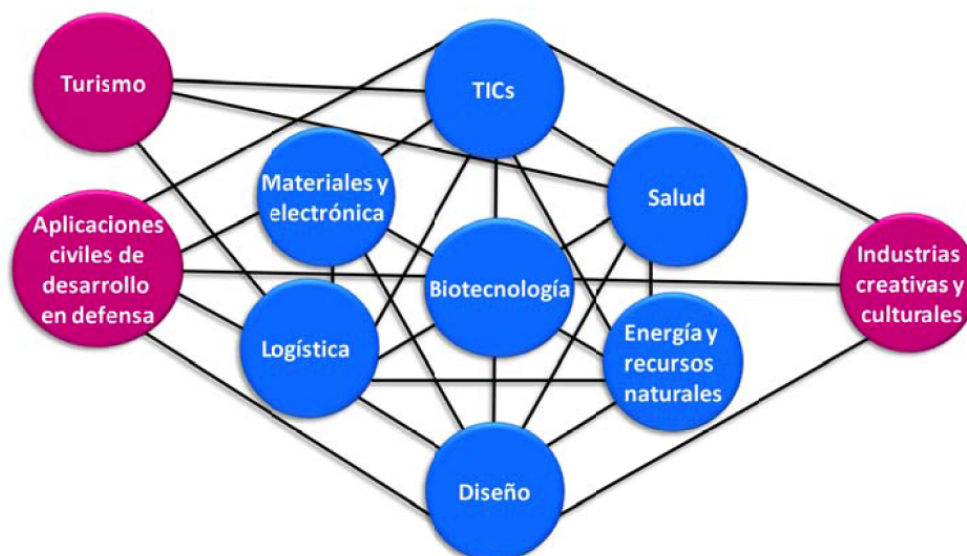
Para la comunidad involucrada en el estudio de los materiales, es de gran importancia el componente relacionado con *la innovación para la prosperidad*, cuyos lineamientos estratégicos se describen a continuación:

- **El conocimiento y la innovación** como un apoyo transversal para la transformación productiva y el impulso a las locomotoras del crecimiento. Busca atender los problemas de (1) bajos niveles de inversión en innovación de las empresas; (2) insuficiente recurso humano para la investigación y la innovación; (3) débil institucionalidad en el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTeI); (4) ausencia de focalización en áreas estratégicas de largo plazo, y (5) disparidades regionales en capacidades científicas y tecnológicas.
- **El emprendimiento.** Entendido como emprendimiento innovador, por oportunidad que provee a las economías la posibilidad de convertir ideas en productos y servicios y a su vez en empresas; promueve la productividad ya que presiona a las empresas establecidas a realizar cambios ante nuevos participantes en el mercado. Como política se proponen dos lineamientos: (1) el fomento de fuentes alternativas de financiación para las nuevas empresas por oportunidad, y (2) el fortalecimiento institucional de la industria de soporte.
- **La propiedad intelectual.** Las altas tasas de crecimiento en la economía actual son impulsadas por procesos de creatividad e innovación de productos y procesos, pero la ausencia de una adecuada política de protección a la propiedad intelectual, desestimula los procesos innovadores. En Colombia, la investigación académica no está dando lugar a innovaciones de aplicabilidad industrial y, por consiguiente, a bienes protegidos a través del sistema de propiedad intelectual (PND Colombia, 72).
- **La promoción y protección de la competencia en los mercados.** El Estado promoverá mecanismos que garanticen la constante disputa de los mercados, evitando el abuso de la posición dominante, las prácticas desleales y aquellas conductas que intenten reducir la oferta o incrementar los precios, afectando el bienestar de los consumidores. Tales mecanismos se agrupan bajo una Política de Competencia.

En el componente de crecimiento de la productividad, hay responsabilidades directas e indirectas de la *comunidad de materiales*, academia, industria y demás actores, en la formación de recurso humano, capacitación permanente, transferencia de conocimiento (asesorías, consultorías). Los sectores basados en innovación, que son los llamados a mantener el dinamismo cuando las locomotoras tradicionales pierdan el impulso, hacen parte del pilar de innovación que es una de las piedras angulares del plan de desarrollo. La estrategia que busca incrementar el valor agregado del aparato productivo colombiano requiere fortalecer la innovación en los sectores más tradicionales y promover el desarrollo de sectores emergentes basados en la innovación como las tecnologías de la información y las comunicaciones, la biotecnología, las



industrias creativas, los materiales y electrónica, energía, recursos naturales y la salud, entre otros ver figura 7.



Fuente: Ministerio de Comercio, Industria y Turismo

Figura 7. Sectores estratégicos para aumentar el valor agregado al sistema productivo nacional.

Según Vargas & Polanía (2011)<sup>28</sup> un crecimiento de la economía de 6% promedio anual y una reducción sostenible del desempleo se logra con sectores basados en innovación; las locomotoras de minería, vivienda, agricultura e infraestructura pueden apalancar la creación de esos sectores, ya que ellas por sí mismas no garantizan mercados de largo plazo ni empleos de formación avanzada. Los pilares que pueden generar los sectores basados en innovación son tres: capital humano, ciencia y tecnología, e innovación para la competitividad. Los autores afirman que a través del nuevo Sistema General de Regalías, se fortalecerá la infraestructura científica y tecnológica y la formación doctoral; el 10% de los recursos de regalías podrá ser destinado a la financiación de proyectos de ciencia, tecnología e innovación. Esto representa un reto importante en la utilización de los recursos por parte de las comunidades académicas, pues la magnitud de los recursos que serán destinados a investigación, desarrollo e innovación no tienen antecedentes en el país.

Un instrumento que se ha propuesto desarrollar en la implementación del PND es el programa de desarrollo de proveedores que tiene como objetivo aumentar sus competencias y capacidades tecnológicas; con el debido desarrollo, éstas se convierten en potenciales productos de conocimiento, exportables, ver figura 8. Varios ejemplos pueden ser citados en Colombia: Ecopetrol, Compañía Metro de

Medellín, Interconexión Eléctrica S.A. Una estrategia de esta naturaleza tiene gran potencialidad en el sector de la minería. El referente para proponer este programa es la experiencia de Chile, donde a partir de la minería del cobre se implementó un programa de capacitación de proveedores para aumentar sus competencias y las capacidades tecnológicas. Se espera lograr un avance en la escala de complejidad cambiando el papel de usuarios de tecnologías, por el de adaptadores y diseñadores; llegando finalmente a la frontera de investigación y desarrollo. Esto último se logra con una alianza muy fuerte entre el sector empresarial y el académico.

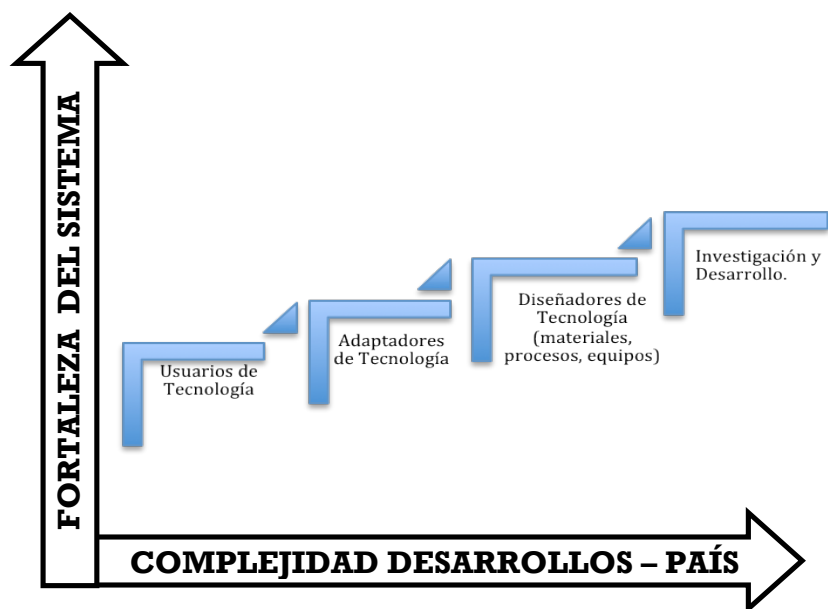


Figura 8. Proceso de generación de capacidades tecnológicas. Adaptación del autor con base en ref 28.

### ***Estrategia de Internacionalización***

El aparte sobre Relevancia Internacional, en el capítulo de Soportes Transversales de la Prosperidad Democrática del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, inicia con las siguientes palabras del Presidente Juan Manuel Santos: “Colombia está llamada a jugar un papel muy relevante en los nuevos espacios globales, y aspiramos asumir el liderazgo que nos corresponde en los escenarios internacionales. Hay que “saber globalizarse” y no simplemente “dejarse globalizar”. Para ello pondremos en marcha una política exterior moderna que mire hacia el futuro, con una estrategia diplomática que multiplique y haga más eficaz la presencia de Colombia en los organismos multilaterales y profundice las relaciones bilaterales”.

Aunque esas estrategias empiezan a mostrar resultados, el diagnóstico del PND sobre el intercambio económico y comercial muestra a Colombia como una

economía todavía comparativamente cerrada. Se relata una “falta de diversificación de mercados y productos que genera una excesiva concentración de riesgo, supeditando el desarrollo del comercio exterior a la dinámica y fluctuaciones de unas pocas economías o a las dinámicas internacionales de precios de unos pocos productos.” La negociación de tratados de libre comercio (TLCs) con otras economías es un gran avance, pero hay grandes retos en la ejecución y aprovechamiento de los acuerdos: el cumplimiento de patrones de calidad de los productos, normas ambientales y normas laborales y la capacidad de negociación, dejan al país a merced del producto extranjero y con limitaciones para vender el propio, tanto en mercados internos como externos. Pero el ejercicio de globalización continua y la sociedad colombiana debe asumir el proceso del aprendizaje en los terrenos políticos, sociales, tecnológicos, ambientales, energéticos y de seguridad.

En el campo económico los tratados de libre comercio TLCs son el instrumento ideal para una globalización regulada. Colombia ha estado muy activa en acuerdos comerciales en la última década, firmó tratados con países de diferentes regiones del mundo cuyo efecto se verá en el largo plazo. Estos acuerdos tienen gran impacto en el mercado de materias primas, semielaborados y procesos tecnológicos en el área de ciencia y tecnología de materiales. Los principales tratados se describen brevemente a continuación.

<i>País o región</i>	<i>Población (millones)</i>	<i>Año</i>
México	115	2004
Guatemala		2009
El Salvador y Honduras		2010
Chile		2009
CAN (Comunidad Andina de Naciones)	60	2006
Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú. - País asociado: Chile.		
CAN - MERCOSUR	216	2006
Canadá		2008
Asociación Europea de Libre Comercio –AELC- o EFTA, Suiza y Liechtenstein.		2009
Estados Unidos de América		2012
Unión Europea		2012
Corea		2013
Panamá, Israel, Japón, Costa Rica, Turquía, China		En estudio

### 3.2.2. Programa de transformación productiva

Los Tratados de Libre Comercio, por si mismos no generan oportunidades al sistema productivo colombiano; son necesarias estrategias que consoliden la presencia del producto colombiano en el mercado global, lo cual implica llegar a: 1) precios competitivos, 2) calidad reconocida en estándares internacionales, 3) valor agregado (rentabilidad) 4) cumplimiento de normas ambientales y de seguridad, entre otras.

En tal dirección, el gobierno creó el “Programa de transformación Productiva” (PTP), cuyo propósito es transformar sectores estratégicos, nuevos y consolidados en sectores de talla mundial. Es una alianza público-privada, creada por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, que fomenta la productividad y la competitividad de sectores con elevado potencial exportador, fueron seleccionados 16 sectores por medio de una convocatoria que evaluó capacidades y posibles mercados, ver figura 9. El área de tecnología de materiales tiene grandes potenciales de acción en los sectores de la manufactura y la agroindustria.



Figura 9. Sectores seleccionados para liderar la transformación productiva de Colombia. <http://www.ptp.com.co/portal/default.aspx>

### 3.2.3. Sistema General de Regalías.

Una decisión política que puede transformar la dinámica de la investigación y el desarrollo tecnológico en Colombia es la nueva estructura del Sistema General de

Regalías adoptada por el Decreto-Ley 4923, expedido el pasado 16 de diciembre de 2011. La ley estipula que el 10 por ciento de los ingresos del Sistema se destinen al Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación. Se decidió, además, la colocación de cien mil millones de pesos de las regalías como capital semilla del Fondo “Francisco José de Caldas”, instrumento financiero que permite minimizar costos de transacción de los proyectos de CTI y operar en diferentes vigencias fiscales, lo que facilita la gestión de grandes proyectos de investigación y desarrollo. Esta es una estrategia complementaria a los TLCs y al programa de transformación productiva para enfrentar la globalización.

Según COLCIENCIAS, “los proyectos susceptibles de financiación deberán estar orientados al desarrollo regional y beneficiar a las entidades territoriales, tal como lo señala el Artículo 28 de la Ley 1286 de 2009.” Y continua “Se financiarán proyectos de investigación básica aplicada y de desarrollo experimental, así como proyectos de innovación tecnológica y social. Igualmente, se apoyará la creación y el fortalecimiento de unidades regionales de investigación, tales como centros de investigación y desarrollo tecnológico, parques científicos y tecnológicos e incubadoras de base tecnológica, entre otros; y programas regionales de formación de talento humano para la investigación, la innovación y la gestión de la CTI.”

En el contexto del presente trabajo, el nuevo Sistema de Regalías constituye una oportunidad y un gran reto para las Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, y en específico para las universidades, de acuerdo a los siguientes aspectos:

- La presencia del Estado, con inversión en el sistema CTI, es la semilla necesaria para dinamizar la producción de bienes de alto valor agregado; la competencia en el mercado internacional de estos bienes la disputan las economías que tiene un marcado desarrollo de capacidades tecnológicas, sustentadas en investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación. En tal sentido el nuevo sistema es bienvenido.
- Las Universidades de Investigación tienen una oportunidad sin precedentes para fortalecer la componente investigativa, es decir dotación, formación doctoral, gestión del conocimiento y de la tecnología, etc. La alarma se enciende cuando estos recursos empiecen a ser utilizados para el soporte del funcionamiento básico de las universidades.
- El propósito de participación de entes regionales apalanca la transferencia de conocimiento entre centros académicos desarrollados y las regiones, para promover la regionalización de la ciencia y la tecnología, como aporte a la disminución de las acentuadas diferencias en el desarrollo de las regiones. Las universidades aquí tienen un papel importante que cumplir.
- La estructura organizacional de las universidades debe adecuarse de forma rápida y eficiente a estas nuevas condiciones y recursos. Se requiere de capacidad de gestión del conocimiento y de negociación con el sistema productivo; de rapidez en la toma de decisiones frente actores internos y

externos. Esto es, necesario admitir que hay diferencias claras entre la gestión de la formación (docencia) y de la investigación, desarrollo e innovación, reconocer un nuevo modelo de universidad para la actual economía del conocimiento y la innovación.

#### **3.2.4. Ingeniería Verde y Química Verde.**

La "Química verde" es una tendencia iniciada dos décadas atrás, que propone el rediseño de productos químicos y procesos con el fin de reducir y eliminar el uso y generación de sustancias peligrosas. Pretende reinventar los procesos productivos y redireccionar el uso de productos químicos en la sociedad para que sean inherentemente más seguros y eficientes. Es un movimiento alineado con los enfoques de sostenibilidad. La química verde y la ingeniería verde ha establecido doce principios:

1. Prevención: Es mejor reducir la producción de desechos que tratarlos o limpiarlos tras su formación.
2. Economía atómica: los métodos sintéticos deben maximizar la incorporación de cada átomo de material utilizado en el proceso, en el producto final.
3. Síntesis química menos peligrosa: Consiste en elaborar procesos que generen la mínima toxicidad e impacto ambiental y en la salud.
4. Diseñar productos y compuestos seguros: Los productos químicos se deben diseñar para cumplir su función con una toxicidad mínima.
5. Disolventes y condiciones seguras de reacción: Las sustancias auxiliares de los procesos químicos (disolventes, tampones, aditivos de separación, entre otros), han de ser inocuas y reducirlas al mínimo.
6. Diseño para la eficiencia energética: los requerimientos energéticos para los procesos químicos, deben ser reconocidos por su impacto medioambiental y económico reducidos; En la medida de lo posible, los procesos de síntesis deben ser realizados a temperatura y presión ambientales.
7. Utilizar materias primas renovables: Las materias primas deben proceder, en lo posible, de fuentes renovables, en la medida en que sea económica y técnicamente factible.
8. Evitar derivados químicos. La síntesis debe diseñarse con el uso mínimo de grupos protectores para evitar pasos extras y reducir los desechos.
9. Catálisis: los reactivos catalíticos son superiores a los reactivos estequiométricos.

10. Diseñar productos que sean fácilmente degradables al final de la vida útil. Los productos químicos han de ser diseñados de tal manera que al culminar su función puedan degradarse en derivados inertes o biodegradables.

11. Hacer monitoreo de los procesos químicos en tiempo real para evitar la contaminación: deben crearse metodologías analíticas y sistemas de control que permitan prevenir la producción de sustancias peligrosas durante los procesos.

12. Operación segura de procesos químicos: diseñar los procesos químicos, utilizando métodos y sustancias que reduzcan el riesgo de accidentes (emisiones, explosiones, incendios, entre otros)..

## 4. Programa Curricular en Ciencia, Ingeniería y Tecnología de Materiales.

### 4.1. Normativa

La presente propuesta sigue los lineamientos de Acuerdo 033 de 2007 del Consejo Superior Universitario (Acta 11 del 26 de noviembre), "Por el cual se establecen los lineamientos básicos para el proceso de formación de los estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia a través de sus programas curriculares".

La propuesta sigue los lineamientos del acuerdo 035 de 2009 del Consejo Superior Universitario (Acta 11 del 15 de septiembre), "por el cual se establecen los procesos para la creación, apertura, modificación y supresión de Programas Curriculares y la apertura, modificación, suspensión, supresión, oferta por cooperación académica y oferta por convenio interinstitucional de sus Planes de Estudio" En el capítulo 2, referente a la Creación de Programas curriculares, se establece:

**ARTÍCULO 3. Proyecto.** Con el fin de que la propuesta de creación de un Programa Curricular sea evaluada, conceptual, académica, administrativa y financieramente por las instancias pertinentes, el grupo gestor deberá elaborar – en los formatos establecidos por la Dirección Nacional de Programas de Pregrado y la Dirección Nacional de Programas de Postgrado- un proyecto en el que se desarrollen al menos los siguientes aspectos:

- a. Análisis comparativo que muestre la necesidad del programa a nivel de la Sede, la Universidad, el País y Latinoamérica.
- b. Objetivos generales del Programa Curricular y Objetivos específicos del plan o planes de estudio propuestos.
- c. Descripción detallada del(los) plan(es) de estudio.
- d. Descripción detallada de recursos docentes, grupos de investigación, proyectos y recursos financieros disponibles para investigación.
- e. Disponibilidad de recursos de infraestructura, técnicos y tecnológicos en función sus necesidades académicas específicas.
- f. Presupuesto detallado para la realización del programa.

**ARTÍCULO 4.** En el caso de la creación de un programa interfacultades, intersedes o interinstitucional, el proyecto deberá incluir además los siguientes aspectos:

- a. Se deberá especificar el porcentaje en el que colabora cada facultad, sede o institución en cuanto a recursos docentes, grupos de investigación, proyectos y recursos financieros disponibles para la investigación.
- b. Estructura administrativa del Programa.



- c. Para los interinstitucionales, propuesta de convenios marco y/o específico sobre la oferta del Programa Curricular y sus planes de estudio.
- d. Para los interinstitucionales, tipo de titulación del Programa: regular, conjunta o doble.

## **4.2. Justificación.**

La capacidad de competir en el mercado internacional con productos y servicios de mayor valor se construye con aplicación del conocimiento científico y tecnológico en el sector productivo. El sector de la transformación de materiales a partir de materias primas naturales, minerales y vegetales, requiere una inyección de conocimiento, de estrategia y de emprendimiento para generar valor agregado a las materias primas y salir en el mediano plazo de la condición de país exportador de commodities. Para alcanzar este objetivo se requieren recursos, estrategias de planeación y esfuerzos de gestión por parte del estado, el sector productivo y la comunidad académica, con una única meta: mejorar las capacidades competitivas del país. En esta área de la tecnología la formación de recurso humano es deficiente ver tabla 5, lo cual ha motivado la formulación del presente proyecto de creación de un pregrado en el área de ciencia, ingeniería y tecnología de materiales

La formación de profesionales en el área de ciencia e ingeniería de materiales ya ha sido considerada con anterioridad en la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín; en el año 2005 fue presentada una propuesta liderada por un grupo de profesores de la Facultad de Minas, la cual no llegó a instancias superiores a la Facultad.

En la actualidad, casi una década después, tanto el contexto nacional como el internacional presentan ambientes diferentes que invitan a una revisión de la propuesta:

- La globalización del comercio materializada en los tratados de libre comercio firmados por Colombia en ese periodo;
- El aumento de la explotación de recursos naturales en Colombia (la “locomotora de la minería”),
- El programa de transformación productiva y,
- La decisión del actual gobierno en su plan de desarrollo de incrementar la inversión en ciencia y tecnología con el objetivo de aumentar la capacidad de generación de conocimiento e innovación del país.
- Las capacidades de la Universidad Nacional en el área de ciencia, ingeniería y tecnología de materiales han evolucionado a través de mecanismos como el fortalecimiento de los grupos de investigación, la creación de nuevos programas de posgrado y la inversión en laboratorios de investigación.

En cuanto a las características necesarias en una estructura o programa en el área de tecnología de materiales, se debe cumplir con:

1. Interdisciplinaridad y concepción científica y tecnológica.
2. Mirada sistémica de la ciencia e ingeniería de materiales: relaciones complejas de estructura, procesos, propiedades, desempeño.
3. Alcance multidimensional del estudio y la investigación de los materiales (nano-micro-macro)
4. Alianza con el sector productivo.
5. Interacción con otras instituciones con capacidades de investigación en el área.

### **4.3. Programa Curricular**

#### **4.3.1. Criterios**

Antes de desplegar el programa curricular y los planes de estudio, es pertinente presentar los criterios con los cuales se formula la propuesta de creación de un nuevo programa de pregrado en el área de materiales, que son resumidos a continuación:

**Visión sistémica – Interdisciplinario:** Los cuatro elementos de la ciencia e ingeniería de materiales (estructura, propiedades, síntesis y desempeño) deben ser tratados desde las diferentes disciplinas y en las diferentes escalas dimensionales.

**Optimización de recursos docentes:** Es necesaria la participación de docentes, cursos y grupos de investigación de varias facultades y departamentos o escuelas con el fin de fortalecer la propuesta del nuevo programa. Los cursos definidos, en su gran mayoría, existen como regulares o electivos ofrecidos por diferentes departamentos de la Sede Medellín.

**Ofrecimiento de varias líneas de énfasis:** Un programa moderno debe cubrir las diferentes tendencias mundiales de la tecnología de materiales (NBI: nano tecnología, biomateriales y bioprocesos y computación) y atender las necesidades de la industria tradicional, local y nacional. Ante la incapacidad de cubrir todo el campo de materiales en un único contenido se propone utilizar el modelo de líneas de énfasis en la formación, que formarán parte del componente de libre elección.

**Laboratorios de docencia compartidos:** Se propone un flujo de estudiantes planeado por los diferentes laboratorios (y grupos de investigación); esta estrategia además de optimizar recurso genera un programa de movilidad académica en la propia Sede.

#### 4.3.2. Características del programa

Para cumplir con los objetivos propuestos, el plan de estudios deberá cubrir los conocimientos correspondientes a los elementos básicos de la ciencia e ingeniería de materiales, estructura, propiedades, síntesis y desempeño; adicionalmente, debe considerar los aportes de los conocimientos en biología (biomateriales y bioprocesos) y la creciente aplicación de las técnicas de computación.

**Estructura:** como están conformados los materiales, desde el nivel atómico hasta el nivel macro. Átomos se arreglan en moléculas, cristales o redes amorfas. Gran parte de la tecnología de hoy se sustenta en la comprensión de los fenómenos en esa escala.

**Propiedades:** la relación estructura propiedades es fundamental en el diseño de materiales y en la optimización de su funcionamiento, en todas las escalas dimensionales.

**Síntesis, procesos y bioprocesos:** El reto de hacer mejores materiales, más eficientes y a menor costo ha generado una trascendental transformación: la nanotecnología ofrece un control fino de dimensiones, composiciones, propiedades.

**Desempeño:** La optimización de los materiales en su aplicación, así como la evaluación y validación permanente de sus propiedades es un componente vital en la relación con el consumidor final. La predicción del comportamiento via simulación se convierte en una herramienta importante en diseño y aplicación de materiales.

#### 4.3.3. Objetivos y competencias

El objetivo general del pregrado en Ciencia e Ingeniería de los Materiales, dentro de la misión y visión de la Universidad Nacional, es formar y educar profesionales competentes y socialmente responsables con énfasis especial en la ciencia e ingeniería de materiales para satisfacer las necesidades de la industria, la academia y el gobierno. El plan de estudios que se propone preparará los egresados para responder a los siguientes retos (objetivos específicos):

- A. Liderazgo, comunicación y trabajo en equipo en la comunidad de ciencia e ingeniería, en el contexto internacional, académico y gubernamental, además de desarrollar la vocación de servicio a la profesión y al público.
- B. Desarrollar bases sólidas en los fundamentos científicos y en los métodos de ingeniería aplicados a la investigación o a la práctica de la ciencia e ingeniería de materiales.

- C. Conocimiento estratégico del ciclo de vida de los materiales, su eficiencia e impacto ambiental en todas las etapas de la vida del material: diseño y desarrollo, fabricación, eficiencia, recuperación y reciclaje;
- D. Promover la innovación en una variedad de campos técnicos relacionados con los materiales: la energía, el medio ambiente, la electrónica, la medicina, las comunicaciones, el transporte y la recreación.
- E. Desarrollar una cultura de “ingeniero ciudadano” conciente de la importancia de los materiales en los sistemas de ingeniería, su impacto ambiental y social.
- F. Preparar al egresado para el aprendizaje permanente.

Las competencias que el programa se propone generar en el egresado son:

Designación	Definición de la competencia
1	Habilidad para aplicar conocimiento en ciencias básicas, ciencias de la ingeniería y matemáticas a problemas en el área de materiales. O sea, entender el mundo físico y utilizar las matemáticas para representarlo.
2	Capacidad para utilizar los elementos fundamentales de la CIM (estructura, propiedades, procesamiento y desempeño) en la identificación, formulación y solución de problemas de tecnología de materiales.
3	Habilidad para diseñar y realizar experimentos, para generar conclusiones o juicios a partir del análisis e interpretación de los resultados.
4	Capacidad para diseñar materiales y procesos de acuerdo a necesidades reales, que cumplan restricciones económicas, ambientales, políticas, éticas, de salud, de seguridad y sostenibilidad.
5	Reconocimiento del impacto de las soluciones de ingeniería en el contexto global económico, ambiental y social.
6	Entendimiento del contexto económico de la práctica de la ingeniería. identificar necesidades de consumidores y usuarios de materiales en áreas claves con productos de alto valor agregado.
7	Capacidad para comunicarse con claridad en forma oral y escrita
8	Reconocimiento de la necesidad y habilidad de permanecer como un aprendiz durante toda la vida.
9	Capacidades de liderazgo, dirección, planeación, organización y trabajo en equipo y buen desempeño en grupos multidisciplinarios.

#### 4.3.4. Componentes del programa y sus agrupaciones

El plan de estudios tiene un total de ciento ochenta (180) créditos exigidos, distribuidos en los siguientes componentes:

1. Componente de fundamentación: cincuenta y cinco (55) créditos exigidos, de los cuales el estudiante deberá aprobar cuarenta (40) créditos correspondientes a asignaturas obligatorias y quince (15) créditos correspondientes a asignaturas optativas.

2. Componente de formación disciplinar o profesional: Setenta y siete (77) créditos exigidos, de los cuales el estudiante deberá aprobar cincuenta y seis (56) créditos correspondientes a asignaturas obligatorias y veintiún (21) créditos correspondientes a asignaturas optativas.

3. Componente de Libre Elección: treinta y seis (36) créditos exigidos, que corresponden al 20% del total de créditos del plan de estudios.

4. Idiomas: 12 créditos correspondientes a los cuatro niveles de inglés.

##### **b) Componente de formación profesional/disciplinar:**

Agrupación	Créditos obligatorios	Créditos optativos	Créditos exigidos
Formación Básica de Ingeniería	17	0	17
Fundamentos de Ciencia e Ingeniería de Materiales	23	0	24
Énfasis: Materiales estructurales, Nanotecnología o biomateriales.	0	18	18
Administración y Gestión de proyectos	10	3	13
Trabajo de Grado	6	0	6
Total	56	21	77

##### **a) Componente de fundamentación:**

Agrupación	Créditos obligatorios	Créditos optativos	Créditos exigidos
Física	12	4	16
Matemáticas, Probabilidad y Estadística	20	8	28
Química y Biología	8	3	11
Total	40	15	55

Los créditos, agrupaciones y asignaturas de los componentes de Fundamentación y Disciplinar/Profesional del plan de estudios, se especifican a continuación:

**a) Componente de Fundamentación:**

**AGRUPACIÓN: MATEMÁTICAS, PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA**

ASIGNATURA	C	OBL	PRERREQUISITO/ CORREQUISITO	
			NOMBRE	REQ
Geometría Vectorial y Anal.	4	SI		
Cálculo Diferencial	4	SI		
Cálculo Integral	4	SI	Cálculo Diferencial	PR
Ecuaciones Diferenciales	4	SI	Cálculo Integral	PR
Estadística I	4	SI	Cálculo Integral	PR
Matemáticas Especiales	4	NO	Ecuaciones Diferenciales	PR
Cálculo en Varias Variables	4	NO	Cálculo Integral	PR
Álgebra lineal	4	NO	Geometría Vectorial y Analítica	PR
Estadística II	4	NO	Estadística I	PR

C: CRÉDITOS, OBL: OBLIGATORIA

Créditos exigidos en la agrupación Matemáticas, Probabilidad y estadística: veintiocho (28)

**AGRUPACIÓN: QUÍMICA Y BIOLOGÍA.**

ASIGNATURA	C	OBL.	PRERREQUISITO/ CORREQUISITO	
			NOMBRE	REQ
Biología general	3	SI		
Química general	3	SI		
Laboratorio de Química general	2	SI	Química general	CO
Química orgánica	3	NO	Química general	PR
Introducción a la Bioquímica	3	NO	Química general	PRo
Química analítica	3	NO		

C: CRÉDITOS, OBL: OBLIGATORIA. Créditos exigidos en la agrupación Química y Biología: once (11).

**AGRUPACIÓN: FÍSICA**

ASIGNATURA	C	OBL.	PRERREQUISITO (PP)/CORREQUISITO (CO)	
			NOMBRE	REQ
Física mecánica	4	SI	Cálculo diferencial	PR
Física de electricidad y magnetismo	4	SI	Física mecánica	PR
			Cálculo integral	PR
Física de oscilaciones ondas y óptica	4	SI	Ecuaciones diferenciales	PR
Física moderna	3	NO	Física de oscilaciones, ondas y óptica	PR
Laboratorio de física moderna	1	NO	Física moderna	PR
Mecánica cuántica	4	NO	Física de oscilaciones, ondas y óptica	PR

C: CRÉDITOS, OBL: OBLIGATORIA. Créditos exigidos en la agrupación Física: dieciséis (16)

**b) Componente de Formación disciplinar o profesional.**

**AGRUPACIÓN: FORMACIÓN BÁSICA DE INGENIERÍA**

ASIGNATURA	CTOS	OBL	PRERREQUISITO/ CORREQUISITO	
			NOMBRE	REQUISITOS
Termodinámica General	4	SI	Cálculo Diferencial	PR
Mecánica de Fluidos	4	SI	Física mecánica, Cálculo Diferencial	PR
Mecánica de Materiales	3	SI	Cálculo diferencial	
Fundamentos de Programación	3	SI		
Mecánica de sólidos	3	SI		

Créditos exigidos en la agrupación Formación básica de ingeniería: diecisiete (17)

**AGRUPACIÓN: FUNDAMENTOS DE CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES**

ASIGNATURA	C	OBL	PRERREQUISITO/ CORREQUISITO	
			NOMBRE	REQUISITOS
Introducción a la Ingeniería de Materiales	1	SI		
Ciencia de Materiales	3	SI		
Laboratorio de Materiales	1	SI		
Metales y Aleaciones	3	SI	Ciencia de Materiales	Prerrequisito
Propiedades de los Materiales I	3	SI	Ciencia de Materiales	Prerrequisito
Materiales Poliméricos	3	SI	Ciencia de Materiales	Prerrequisito
Materiales cerámicos	3	SI	Ciencia de Materiales	Prerrequisito
Materiales Compuestos	3	SI	Ciencia de Materiales	Prerrequisito
Propiedades de los Materiales II	3	NO	Propiedades de los Materiales I.	Prerrequisito
Termodinámica de Materiales	3	NO	Termodinámica general	Prerrequisito
Estado Sólido	3	NO		
Procesos de manufactura	3	SI		

Créditos exigidos en la agrupación Fundamentos de la ciencia y la ingeniería de materiales: veintitres (23).

**AGRUPACIÓN: ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS**

ASIGNATURA	CTS	OBL	PRERREQUISITO/ CORREQUISITO	
			NOMBRE	REQ
Teoría de la gestión	3	NO		
Taller de formulación de proyectos de investigación..	3	NO		
Contabilidad general	3	NO		
Seminario proyectos en ingeniería I	3	SI		
Seminario proyectos en ingeniería II	3	SI		
Seminario proyectos en ingeniería III	4	SI		

Créditos exigidos en la agrupación Administración y Gestión de Proyectos Trece (13)

A continuación se presentan las agrupaciones de énfasis que el futuro profesional puede dar a su formación en ciencia e ingeniería de materiales y que corresponden bien a las tendencias mundiales en el área y a las capacidades académicas de la Sede Medellín. La primera agrupación se refiere a los materiales estructurales y su procesamiento, también designados como materiales convencionales, que será un aporte al medio nacional que se encuentra en la fase de desarrollo inicial de sus capacidades de diseño y procesamiento de materiales. .

**AGRUPACIÓN: MATERIALES ESTRUCTURALES - PROCESAMIENTO**

ASIGNATURA	CTS	OBL.	PRERREQUISITO/ CORREQUISITO	
			NOMBRE	REQ
Procesos de Manufactura Mecánica	3	NO	Procesos de Manufactura I	PR
Tratamientos térmicos	3	NO	Ciencia de Materiales	PR
Procesos y metalurgia de la soldadura	4	NO	Procesos de Manufactura	PR
Fundición	3	NO	Ciencia de Materiales	PR
Electrometalurgia y corrosión	3	NO		
Ensayo y Calidad de Materiales	3	NO		
Materiales de construcción	3	NO		
Selección de materiales estructurales	3	NO		

Créditos exigidos en la agrupación materiales estructurales: doce (12).

Las otras dos agrupaciones son la de Nanotecnología y la de Bioingeniería y Biomateriales, que corresponden a las tendencias más actuales de la tecnología de materiales y al desarrollo de materiales para aplicaciones complejas. Se considera en la propuesta que con dieciocho créditos el estudiante tendrá una formación básica en cualquiera de los tres énfasis que elija



**AGRUPACIÓN: MICROINGENIERÍA Y NANOTECNOLOGÍA**

ASIGNATURA	CTOS	OBL	PRERREQUISITO/ CORREQUISITO	
			NOMBRE	REQ
Mecánica cuantica	4	NO		
Estado Sólido	4	NO		
Ingeniería de Superficies	4	NO		
Microingeniería	4	NO		
Física moderna	3	NO		
Laboratorio de física moderna	1	NO		
Nanotecnología		NO		

**AGRUPACIÓN: BIOINGENIERÍA y BIOMATERIALES**

ASIGNATURA	CRÉDITOS	OBLIGATORIA	PRERREQUISITO/ CORREQUISITO	
			NOMBRE	REQUISITOS
Bioquímica	4	NO		
Fundamentos de Biotecnología	4	NO		
Biomateriales	4	NO		
Biomateriales II	4	NO		
Biofísica	3	NO		

Cada estudiante deberá cursar todas las asignaturas obligatorias en cada componente y completar los créditos exigidos para dicho componente con las asignaturas optativas que elija de la oferta vigente de asignaturas. Las agrupaciones temáticas, los créditos obligatorios y los créditos optativos dentro de los componentes de fundamentación y de formación profesional/disciplinar.

En el siguiente cuadro se presenta de forma simplificada el programa curricular, con los colores se indica los créditos impartidos por la **Facultad de ciencias (azul)** y la **Facultad de Minas (amarillo)**

**PRESENTACIÓN SIMPLIFICADA DEL PROGRAMA**

CÓDIGO	NOMBRE	C	CÓDIGO	C	
PRIMER SEMESTRE			SEGUNDO SEMESTRE		
1000008	Geometría Vectorial y Analítica	4	1000005	Cálculo Integral	4
1000004	Cálculo diferencial	4	1000019	Física Mecánica	4
3006829	Química general	3	xxxxx	Optativa Química	3
1000035	Laboratorio de química general	2	1000009	Biología General	3
yyyyyy	Introducción ing de Materiales.	1		Inglés I	3
3007742	Fundamentos de programación.	3			
Créditos semestre		17	Créditos semestre		17
TERCER SEMESTRE			CUARTO SEMESTRE		
1000007	Ecuaciones Diferenciales	4	xxxxx	Optativa matemáticas	4
1000017	Física de Electricidad y Magnetismo	4	1000020	Física de oscilaciones, ondas y óptica.	4
3007826	Termodinámica general	4	3006914	Estadística	4
3007844	Seminario Proyectos Ing- I	3	3007309	Ciencia de Materiales	3
3007931	Mecánica de Materiales	3	yyyyy	Laboratorio de Materiales	1
				Inglés II	3
Créditos semestre		18	Créditos semestre		19
QUINTO SEMESTRE			SEXTO SEMESTRE		
xxxxx	Optativa Matemáticas	4	3006960	Mecánica de Fluidos	4
xxxxx	Optativa física	4	3007845	Seminario Proyectos Ing II	3
3007433	Mecánica de sólidos	3	3007327	Procesos de Manufactura	3
yyyyy	Propiedades de los Materiales I	3	yyyyyy	Optativa áreas de énfasis	3
xxxxx	Metales y aleaciones	3	xxxxxxx	Materiales cerámicos	3
				Inglés III	3
Créditos semestre		17	Créditos semestre		19
SÉPTIMO SEMESTRE			OCTAVO SEMESTRE		
xxxxx	Libre elección	3	yyyyy	Caracterización de Materiales	3
yyyyy	Materiales poliméricos	3	yyyyy	Materiales compuestos	3
xxxxx	Libre elección	3	xxxxx	Libre elección	3
yyyyy	Libre elección	3	xxxxx	Libre elección	3
yyyyy	Optativa de área de énfasis	3	xxxxx	Libre elección	3
	Inglés IV	3	xxxxx	Optativa áreas de énfasis	3
Créditos semestre		18	Créditos semestre		18
NOVENO SEMESTRE			DÉCIMO SEMESTRE		
3007546	Seminario Proyectos Ing. III	4	yyyyy	Trabajo de Grado	6
xxxxx	Libre elección	3	xxxxx	Libre elección	3
yyyyy	Libre elección	3	xxxxx	Libre elección	3
xxxx	Libre elección	3	xxxxx	Optativa áreas de énfasis	3
yyyyy	Libre elección	3	xxxxx	Optativa áreas de énfasis	3
yyyy	Optativa áreas de énfasis	3			
Créditos semestre		19	Créditos semestre		18

ÁREAS DE ÉNFASIS PROPUESTAS					
MATERIALES ESTRUCTURALES - PROCESAMIENTO		MICRO Y NANOTECNOLOGÍA		BIO INGENIERÍA Y BIO MATERIALES	
Fundición	3	Mecánica cuantica	3	Bioquímica	3
Ensayo y Calidad de materiales	3	Estado sólido	3	Biofísica	3
Materiales de construcción I	3	Microingeniería	3	fundamentos de Biotecnología	3
Selección de materiales estructurales	3	Nanotecnología	3	Biomateriales I	3
Procesos y metalurgia de la soldadura	4	Ingeniería de Superficies	3	Biomateriales II	3
Tratamientos Térmicos	3	Propiedades de los Materiales II	3	Materiales blandos	3



## 4.4. Recursos

### 4.4.1. Recursos docentes

Profesores que trabajan directamente en diferentes campos del área de ciencia y tecnología de materiales.

PROFESOR			DEPARTAMENTO O ESCUELA		ÁREA DE DESEMPEÑO
Sierra Alberto	Gallego Germán		Materiales Minerales	y	Catalisis, Nanotubos de caarbono.
Ocampo Luz Marina	Carmona		Materiales Minerales	y	Corrosión, Electroquímica, Reciclaje de materiales
Estupiñán Armando	Durán Hugo		Materiales Minerales	y	Biomateriales, Metalurgia física,, análisis de falla.
Giraldo Barrada Jorge Enrique			Materiales Minerales	y	Procesamiento y metalurgia de la soldadura.
Hernández Ortiz Juan Pablo			Materiales Minerales	y	Materiales blandos, Modelamiento molecular, nanotecnología.
Márquez Godoy Marco Antonio			Materiales Minerales	y	Bioprocesamiento de minerales, caracterización de materiales.
Meza Meza Juan Manuel			Materiales Minerales	y	Propiedades mecánicas, tribología, materiales compuestos
Restrepo Baena Oscar Jaime			Materiales Minerales	y	Ciencia de materiales, cerámicos y vitreos, termodinámica.
Tobón Jorge Iván			Materiales Minerales	y	Química del Cemento,
Toro Octavio	Betancur Alejandro		Materiales Minerales	y	Tribología, ciencia de Materiales estructurales,
Vélez Restrepo Juan Manuel			Materiales Minerales	y	Ciencia de materiales, propiedades, fibras naturales, tribología.
Rojas Reyes Néstor Ricardo			Materiales Minerales	y	
Blandón Montes Astrid del So			Materiales Minerales	y	
Bustamante Rua M. Oswaldo			Materiales Minerales	y	Beneficio de Minerlaes, Medios continuos.

Ospina Montoya Álvaro León	Materiales Minerales	y	Materiales estructurales, propiedades mecánicas.
Farbiarz Farbiarz Yosef	Materiales Minerales	y	Materiales de construcción civil.
Carlos Paucar	Escuela de Química		Síntesis y caracterización de materiales cerámicos y vítreos
Elizabeth Pabón, Ph.D. -	Escuela de Química		Química inorgánica y Química de los materiales
Jair Gaviria	Escuela de Química		Análisis instrumental
Pilar García	Escuela de Química		Química de los materiales
Claudia García	Escuela de Física		
Wilmer	Escuela de Física		

#### 4.4.2. Laboratorios

LABORATORIO/ DEPARTAMENTO	DESCRIPCIÓN / MISIÓN
Laboratorio de Carbones/ Materiales y Minerales	Servicios a la investigación, la docencia y la extensión en el área de los carbones y la materia orgánica sedimentaria
Laboratorio de Beneficio de Minerales/ Materiales y Minerales	Sirve a la comunidad universitaria y al sector minero metalúrgico, mediante la realización de estudios de caracterización química, mineralógica y físico mecánica de minerales metálicos y no metálicos.
Laboratorio de Tribología y Superficies/ Materiales y Minerales	Estudia fenómenos de desgaste para enfrentar situaciones típicas en la industria local y nacional; genera interacción con pares internacionales en las áreas de desgaste, corrosión y análisis de superficies.
Laboratorio de Soldadura / Materiales y Minerales	Estudio de procesos de soldadura eléctrica, manual, Soldadura TIG y autógena. En cuanto a ensayo se hace toma de radiografías y revelado, medición de espesores y búsqueda de defectos por ultrasonido, ensayos de desgaste de recubrimiento
Laboratorio de Procesos de	Se busca la comprensión de fenómenos fundamentales que puedan tener una aplicación

Manufactura – Ingeniería Mecánica	práctica e incidencia en el mejoramiento de los procesos de fabricación. Estas actividades se desarrollan con el apoyo de la Universidad, diversas entidades de apoyo a la investigación en el país y la cooperación con otras universidades e institutos nacionales e internacionales.
Laboratorio de Electroquímica/ Proceso y Energía	Realiza investigaciones para el desarrollo de procesos electroquímicos ambientalmente limpios. El Laboratorio es pionero en Colombia en el desarrollo de Celdas de Combustible Directas basadas en etanol gracias a que cuenta con un grupo de investigadores calificados y con una infraestructura adecuada.
Laboratorio de Caracterización de Materiales/ Materiales y Minerales	Brindar apoyo a los estudiantes e investigadores en la identificación de los principales rasgos constitutivos de los materiales: tipo de fases y en algunos casos, el cambio de éstas con la temperatura, microestructura, composición química, y algunas propiedades mecánicas. Ofrecer servicios de asesoría a las empresas del sector de los materiales y metalmeccánicas tendientes a mejorar su productividad mediante innovación y adaptación de tecnologías, garantizando e ciencia, con habilidad y calidad mediante personal comprometido y ampliamente capacitado en el conocimiento de los materiales
Laboratorio de Biomineralogía y Biohidrometalurgia Materiales y Minerales	Investigación/Innovación/Implementación de procesos en biotecnología aplicados a la minería. Investigación/Innovación/en procesos en biosíntesis de minerales de interés en la ingeniería de materiales
Química del Cemento / Arquitectura y Minas	
Laboratorio de Cerámicos y Vítreos – Facultad de Ciencias	El Laboratorio de Materiales es un laboratorio de investigación en materiales cerámicos y vítreos tradicionales y avanzados, que en la actualidad presenta varias líneas de investigación dentro de las que se cuentan: Cerámica tradicional Desarrollo de materiales altamente refractarios por rutas químicas alternativas Desarrollo de materiales vitrocerámicos de altas especificaciones para uso dental.

---

Recubrimientos vítreos bioactivos  
Pigmentos cerámicos

---

#### 4.4.3. Grupos de investigación.

FACULTADES	GRUPO DE INVESTIGACIÓN	DIRECTOR
MINAS ARQUITECTURA	Cemento y Materiales de Construcción	Oscar Jaime Restrepo
CIENCIAS	Ciencia de Materiales avanzados	Elizabeth Pabón
MINAS	Soldadura	Jorge Enrique Giraldo
MINAS	Instituto de Minerales CIMEX	Oswaldo Bustamante
MINAS	Ingeniería Electroquímica	Carlos Sanchez
MINAS	Tribología y Superficies	Juan Manuel Meza
MINAS-CIENCIAS	Cerámicos y Vítreos	Claudia Patricia García
MINAS	Ciencia y Tecnología de Materiales	Juan Manuel Vélez
MINAS	Biomíneralurgia	Marco Antonio Marquez

#### 4.4.4. Otros programas relacionados

A) Programas de pregrado en UN Sede Medellín, con componentes en materiales.

PROGRAMA	PROGRAMAS DE PREGRADO UNIVERSIDAD NACIONAL – Análisis relacionado con los ELEMENTOS del área de materiales
INGENIERÍA FÍSICA	<p>Los cursos de Física moderna, Estado sólido y Mecánica cuántica le dan al estudiante capacidades para interpretar la estructura electrónica, atómica, cristalina, policristalina y amorfa.</p> <p>Los cursos de biofísica y bioquímica le dan ingreso al mundo de los biomateriales. Su perfil lo describe como capacitado para el análisis y desarrollo de sistemas físicos, físico-químicos y biofísicos.</p> <p>La Ingeniería Física presenta las mayores fortalezas en formación para la comprensión de la estructura del material, desde la escala atómica.</p>
INGENIERÍA MECÁNICA	<p>La Ingeniería Mecánica propone: ingenieros con capacidad de establecer adecuadamente las relaciones entre la estructura, las propiedades y los procesos de conformación de los materiales y</p>



---

INGENIERÍA BIOLÓGICA	<p>que le permitan su aplicación en el diseño de partes. Se imparten curso generales de Ciencia de Materiales, uno específico de Materiales para Ingeniería y un curso de Procesos de Manufactura.</p> <p>En el programa se generan competencias específicas en la selección de materiales y procesos para aplicaciones en el campo de la mecánica.</p> <p>El Ingeniero Biológico es un profesional idóneo en el campo de los procesos biológicos, con una base académica sólida en las ciencias básicas y de la ingeniería tiene la capacidad de apropiar, innovar, optimizar y desarrollar procesos biológicos a diferentes escalas, en las áreas ambiental, alimentos, biología molecular, biocombustibles, cosmética, farmacológica y genética, entre otras; así como de participar en investigación inter y transdisciplinar y trabajar en equipo. Este profesional puede contribuir al desarrollo del país con competitividad y con criterios de responsabilidad social y sostenibilidad ambiental. La agrupación Ingeniería Aplicada se concentra en ingeniería bioquímica, operaciones unitarias.</p>
CONSTRUCCIÓN	<p>La carrera Construcción contempla en su plan de estudios una agrupación sobre Materiales (10 créditos) en el componente de formación profesional. Se propone formar Arquitectos Constructores con conocimientos profundos sobre materiales, sistemas y procesos constructivos propios de los tipos de obra edilicia y civil que estén dentro de su perfil ocupacional.</p>
MINAS METALURGIA	<p>Y</p> <p>El área de Metalurgia Extractiva de este programa se propone: Estudiar, analizar y diseñar el sistema de producción de planta, considerando la ingeniería de procesos en las diferentes modalidades de beneficio y extracción metalúrgica, y que conducen al diseño, optimización y control de plantas minero-metalúrgicas. Subáreas: Reducción de tamaño, separación selectiva de fases (sólido/líquido y sólido/sólido) y Extracción metalúrgica.</p>

---

<http://www.medellin.unal.edu.co/index.php/formacion/carreras/>

## B) Programas de Posgrado

FACULTAD	PROGRAMAS POSGRADO	DE	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN AFINES AL ÁREA DE MATERIALES
CIENCIAS	Maestría en Ciencias - Física y Doctorado en Física		Bioingeniería de materiales. Caracterización óptica de materiales. Desarrollo de fibras ópticas de alto rendimiento. Materiales Cerámicos. Bioingeniería de materiales
			Química de Materiales
MINAS	Maestrías en Ingeniería: Materiales y Procesos Minerales Doctorado en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales		Procesamiento de Minerales, Biomineralogía Desarrollo de Nuevos Materiales Tribología, Materiales Cerámicos Biomateriales y Fibras Vegetales Materiales para la construcción
			Aprovechamiento de residuos del proceso de materias primas biológicas. Nuevos materiales. Tribología.
CIENCIAS AGRARIAS	Maestría en Ingeniería Agroindustrial		

## 4.5. Gestión administrativa del programa

### 4.5.1. Nombre del programa

Tratándose de un programa interdisciplinario es importante generar un nombre que englobe las áreas del conocimiento y de la tecnología que pretende cubrir en la formación de recurso humano. Coherente con este aspecto, el programa involucrará docentes investigadores de diferentes facultades y unidades académicas. A partir de estos supuestos se sugieren los siguientes nombres para el programa, sobre los cuales las comunidades académicas involucradas y los directivos de la Universidad deberán decidir:

- Ciencia e Ingeniería de Materiales
- Ciencia y Tecnología de Materiales
- Ingeniería de Materiales

#### 4.5.2. Facultades y Unidades académicas participantes

Componente de fundamentación Agrupación	Escuela o Departamento	Créditos exigidos
Física	Física	16
Matemáticas, Probabilidad y Estadística	Matemáticas	28
Química y Biología	Química y Biociencias	11
Total		55

Componente de formación profesional/disciplinar	Escuela o Departamento	Créditos exigidos
Formación Básica de Ingeniería	Geociencias, Mecánica, Materiales, Sistemas	17
Fundamentos de Ciencia e Ingeniería de Materiales	Materiales y Minerales	24
Administración y Gestión de proyectos	Ingeniería organización	13
Total		53

Énfasis: Materiales estructurales, Nanotecnología o biomateriales.	Compartido: Facultades Ciencias y Minas	18
Trabajo de Grado	Compartido: Facultades Ciencias y Minas	6

Como se observa es un programa es un programa equilibrado para las facultades de Ciencias y Minas en la formación básica y disciplinar; los créditos correspondientes a las áreas de énfasis y de libre elección se pueden considerar compartidos en un 50%.

En lo relacionado a los grupos de investigación la Facultad de Minas tiene mayor presencia de grupos que estudian principalmente problemas de ciencia y tecnología de materiales; sin embargo, vale la pena recordar que en tal listado no aparecen los laboratorios de ciencias básicas que dispone la Facultad de Ciencias: Física, biología, química.

#### **4.5.3. Estructura administrativa**

Siguiendo los lineamientos del acuerdo 011 de 2005 del Consejo Superior Universitario de la Universidad Nacional de Colombia, el programas curricular debe adscribirse a un área curricular ya existente o proponer la creación de una nueva área curricular con programas afines a esta área del conocimiento. En ese orden de ideas, surgen las siguientes alternativas:

1. Creación de una nueva área curricular que albergaría los siguientes programas:
  - a. Doctorado en Ingeniería – Ciencia y Tecnología de Materiales
  - b. Maestría en Ingeniería: Materiales y Procesos
  - c. El presente Pregrado con el nombre que se le asigne.
2. Creación de un nueva área curricular con programas de las dos facultades que lideran la actual propuesta, o sea un área curricular de Sede. En dicha área se sugiere la inclusión junto a los tres programas mencionados, la Maestría en Química, programa de gran afinidad en sus objetivos y en su campo de aplicación con los de la Facultad de Minas.
3. Adscribir el pregrado a un área curricular existente en las facultades que lideran la creación del pregrado, por ejemplo al área curricular de ing Mecánica de la Facultad de Minas, o al área curricular en la que se encuentra el programa de ing física, en la Facultad de Ciencias

#### **4.5.4. Oferta de cupos**

Se considera la apertura del programa con la admisión de cuarenta alumnos semestrales. Con el fin de evitar la saturación de la Facultad de Ciencias, en sus cursos básicos, y de otras unidades académicas que ofrecen cursos a múltiples carreras, se propone la reducción de ese número en los admitidos a los programas más saturados del área de ingeniería.

## 5. Bibliografía

Apelian, Diran. "Looking beyond the last 50 years the Future of Materials Science and Engineering." *JOM News* (Springer) 59, no. 2 (febrero 2007): 65-73.

NACIONES UNIDAS - CEPAL. *Indicadores de cpacidades tecnológica en America Latina*. Vol. 89. MEXICO: Serie Estudios y Prepectivas - Naciones Unidas , 2007.

National Academy of Enginnering. *Grand Challenges for Enginnering*. National Academy of Sciences, The National Academies, 2008, 52.

National Research Council. *Our Common Jouurney: A Transition Toward Sustainability*. Washington: The National Acdemies Press, 1999, 379.

National Science Foundation. "The Future of Materials Science and Materials Engineering Education." *A report from the Workshop on Materials Science and Materials Engineering Education*. Arlington, VA, 2008.

Organización de los Estados Americanos. *Ciencia, Tecnología, Ingeniería e Innovación para el desarrollo*. Washington: OEA, 2005.

UNESCO. *ENGINEERING: ISSUES, CHALLENGES AND OPORTUNITIES*. Report, Paris: UNESCO Publishing, 2010, 396.

## Referencias

---

1 Moreno-Brid, J.C. y Ruiz-Nápoles P. La educación superior y el desarrollo económico en América Latina. CEPAL Serie Estudios y Perspectivas – N° 106. ISSN versión electrónica 1684-0364.

2 Sanjaya Lall. Technological Capabilities and Industrialization. *World Development*, Vol. 20, No. 2, pp. 165-186,1992.

3 Kim, L. (2001) la dinámica del aprendizaje tecnológico en la industrialización. UNESCO, *Revista Internacional de Ciencias Sociales*, [www.unesco.org/issj/](http://www.unesco.org/issj/)). Volumen N° 168, pp. 158-169.

4 Smith F. William. *Fundamento de La Ciencia e Ingeniería de Materiales*. Mc Graw Hill. Tercera edición. 1998.

5 Materials Science and Engineering for the 1990s: Maintaining Competitiveness in the Age of Materials (1989) NATIONAL ACADEMY PRESS. Washington, D.C. 1989. <http://www.nap.edu/books/0309039282/html/index.html>

---

6 Robert L. Sproull . The early History of The Materials Research Laboratories. Ann. Rev. Mater. Sci. 1987. 17: 1-12

7 Hartman P.L. Cornell's Materials Science Center, The Early Years. Copyright 2007 by the Cornell Center for Materials Research. <http://www.ccmr.cornell.edu/about/Hartman-MS-History-2007.pdf>

8 Schwartz L.H . Materials Research Laboratories: Reviewing the First Twenty-Five Years. In Advancing Materials Research, ps 35-50. ISBN: 0-309-56404-2, 408 p. National Research Council, NATIONAL ACADEMY PRESS Washington, D.C. 1987

9 World Conference on Science. SCIENCE FOR THE TWENTY-FIRST CENTURY. A New Commitment. Thematic meeting I.13. Science and New Materials. Published in 2000 for the UNESCO. ISBN 1 903 598 001.

10 The Physics of Materials: How Science Improves Our Lives. ISBN: 0-309-55708-9, 35 pages, 11 x 8.5, (1997). NATIONAL ACADEMY PRESS.  
<http://www.nap.edu/catalog/9090.html> Washington, D.C.1997

11 Garcia Cordoba, Fernando. La Investigación Tecnológica. Mexico. Limusa 2005. 454 p. ISBN 968-18-6597-9

12 Department of Trade and Industry (DTI). Materials Innovation and Growth Team. A STRATEGY FOR MATERIALS. <http://www.bis.gov.uk/files/file25250.pdf>

13 ACATECH – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. acatech TAKES A POSITION –No.3. MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING IN GERMANY. RECOMMENDATIONS ON IMAGE BUILDING, TEACHING AND RESEARCH.. ISSN: 1863-1738/ISBN: 978-3-8167-7913-1. 2008.  
[http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Stellungnahmen/acatech\\_takes\\_position\\_no3\\_gesamt.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Stellungnahmen/acatech_takes_position_no3_gesamt.pdf)

14 Fong-Ming Lee. Materials Science and Engineering Education in Taiwan: a Core Course and a Cornerstone. *Global J. of Engng. Educ.*, Vol.6, No.1 2002. Published in Australia

15 UNEP (2011) Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth, A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. Fischer-Kowalski, M., Swilling, M., von Weizsäcker, E.U., Ren, Y., Moriguchi, Y., Crane, W., Krausmann, F., Eisenmenger, N., Giljum, S., Hennicke, P., Romero Lankao, P., Siriban Manalang, A., Sewerin, S. ISBN: 978-92-807-3167-5

16 National Research Council. (1999). *Our Common Journey: A Transition Toward Sustainability*. Washington: The National Academies Press.

17 UNEP (2010) Assessing the Environmental Impacts of Consumption and Production: Priority Products and Materials, A Report of the Working Group on the Environmental Impacts of Products and Materials to the International Panel for Sustainable Resource

---

Management. Hertwich, E., van der Voet, E., Suh, S., Tukker, A., Huijbregts M., Kazmierczyk, P., Lenzen, M., McNeely, J., Moriguchi, Y.

18 UNEP (2011) Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth, A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. Fischer-Kowalski, M., Swilling, M., von Weizsäcker, E.U., Ren, Y., Moriguchi, Y., Crane, W., Krausmann, F., Eisenmenger, N., Giljum, S., Hennicke, P., Romero Lankao, P., Siriban Manalang, A., Sewerin, S. ISBN: 978-92-807-3167-5

19 OECD Environment Directorate: 2010 OECD GLOBAL FORUM ON ENVIRONMENT Focusing on SUSTAINABLE MATERIALS MANAGEMENT. 25-27 October 2010, Mechelen, Belgium. Summary Paper 4: Considerations for Developing a Path Forward . Working Document.

<http://www.oecd.org/environment/resourceproductivityandwaste/46102501.pdf>

20 World Resources Institute. RESOURCE FLOWS- THE MATERIAL BASIS OF INDUSTRIAL ECONOMIES.pdf -1997; ISBN 1-56973-209-4

21 UNEP (2010) Assessing the Environmental Impacts of Consumption and Production: Priority Products and Materials, A Report of the Working Group on the Environmental Impacts of Products and Materials to the International Panel for Sustainable Resource Management. Hertwich, E., van der Voet, E., Suh, S., Tukker, A., Huijbregts M., Kazmierczyk, P., Lenzen, M., McNeely, J., Moriguchi, Y.

22 Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación de España. Libro Blanco. ESTUDIOS DE GRADO EN INGENIERÍA DE MATERIALES.

[http://www.aneca.es/var/media/150256/libroblanco\\_materiales\\_def.pdf](http://www.aneca.es/var/media/150256/libroblanco_materiales_def.pdf)

23 M. C. Flemings and R. W. Cahn. Organization and trends in Materials Science and Engineering Education in the US and Europe. Acta Mater. 48 (2000) 371- 383.

24 The Higher Education Academy, and UK Center for Materials Education. National Subject Profile for higher education programmes in Materials – 2008. <http://www.materials.ac.uk/subject-profile/report.asp> (2008)

25 NACIONES UNIDAS - CEPAL. (2007). *Indicadores de capacidades tecnológica en America Latina* (Vol. 89). MEXICO, MEXICO: Serie Estudios y Prepectivas - Naciones Unidas

26 Organización de los Estados Americanos. (2005). *Ciencia, Tecnología, Ingeniería e Innovación para el desarrollo*. Washington: OEA

27 Plan Nacional de Desarrollo de Colombia 2010-2014. Presidencia de la Republica.

28 Vargas, F., & Polanía, O. (2011). Las locomotoras del desarrollo: Minas, energía e innovación. *Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes* , 34, 44-48.